

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 333**

51 Int. Cl.:

**B29B 7/48** (2006.01)

**B29C 47/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2009** **E 09765553 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.01.2013** **EP 2291270**

54 Título: **Elementos de tornillo sin fin con ángulo de cresta reducido**

30 Prioridad:

**20.06.2008 DE 102008029305**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**18.04.2013**

73 Titular/es:

**BAYER INTELLECTUAL PROPERTY GMBH  
(100.0%)  
Alfred-Nobel-Strasse 10  
40789 Monheim , DE**

72 Inventor/es:

**BIERDEL, MICHAEL;  
KÖNIG, THOMAS y  
LIESENFELDER, ULRICH**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 401 333 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Elementos de tornillo sin fin con ángulo de cresta reducido

5 La invención se refiere a elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin del mismo sentido por parejas y que engranan engranan con exactitud por parejas, al uso de los elementos de tornillo sin fin en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles así como a un procedimiento para la generación de los elementos de tornillo sin fin.

10 Las máquinas de dos árboles o dado el caso de varios árboles que giran en el mismo sentido, cuyos rotores engranan con exactitud mutuamente, se conocen ya desde hace mucho tiempo (documento DE 862 668). En la producción y tratamiento de polímeros, las máquinas de tornillo sin fin, que se basan en el principio de perfiles que engranan con exactitud, han experimentado múltiples usos. Esto se basa sobre todo en que las masas fundidas de polímero se adhieren a las superficies y, a las temperaturas de procesamiento habituales, degradan con el tiempo, lo que se impide mediante la acción de autolimpieza de los tornillos sin fin que engranan con exactitud. Reglas para la generación de perfiles helicoidales que engranan con exactitud se muestran por ejemplo en *Klemens Kohlgrüber. Der gleichläufige Doppelschneckenextruder*, Hanser Verlag München 2007, pág. 96 y siguientes [1]. Allí se describe la construcción de perfiles de uno, dos y tres pasos de rosca.

15 Es sabido por el experto que en la zona de las crestas de tornillo sin fin se disipa especialmente mucha energía en la masa fundida, lo que lleva de manera localizada a sobrecalentamientos intensos en el producto. Esto se muestra por ejemplo en [1] en las páginas 160 y siguientes. Estos sobrecalentamientos localizados pueden llevar a daños en el producto, tales como, por ejemplo, variaciones en el olor, color, composición química o peso molecular o a la formación de inhomogeneidades en el producto tales como cuerpos de gel o manchas. A este respecto es sobre todo perjudicial un ángulo de cresta grande.

20 La entrada de energía tiene lugar en una extrusora de dos husillos en forma de energía eléctrica de alta calidad, de modo que se pretende una reducción de la entrada de energía por motivos de los gastos y ambientales. Además una entrada de energía elevada lleva a altas temperaturas de producto, lo que a su vez puede llevar a desventajas en la calidad. Además una entrada de energía elevada en el caso de muchos procesos limita también el posible caudal de la extrusora de dos husillos y con ello la rentabilidad.

25 La entrada de energía en una extrusora de dos husillos se determina por los parámetros del proceso caudal y velocidad de giro, por las propiedades de los materiales del producto así como por la geometría de los árboles de tornillo sin fin utilizados. Las extrusoras de dos husillos modernas disponen de un sistema modular, en el que se fijan distintos elementos de tornillo sin fin a un árbol de rosca. Con ello el experto puede adaptar la extrusora de dos husillos al objetivo de procedimiento respectivo. Por lo general, hoy en día se usan elementos de tornillo sin fin con perfiles de dos pasos de rosca y tres pasos de rosca, dado que los perfiles helicoidales de un paso de rosca, debido a su gran ángulo de cresta, tienen una entrada de energía demasiado elevada.

30 Según el estado de la técnica (véase por ejemplo [1] página 101) la geometría de los elementos de tornillo sin fin que engranan con exactitud se determina por indicación de las magnitudes independientes número de pasos de rosca  $Z$ , distancia entre ejes  $A$  y diámetro de carcasa (corresponde al diámetro  $DE$  del contorno que roza con exactitud). El número de pasos de rosca es en este caso el número de arcos circulares de cada uno de los elementos que limpian la pared externa. El ángulo de un arco circular de este tipo, con respecto al punto central de giro, se denomina ángulo de cresta  $KWO$ . En la zona del ángulo de cresta, el radio exterior del perfil es igual al radio de carcasa.  $KWO$ , de acuerdo con el estado de la técnica no es ninguna magnitud ajustable y adaptable a la tarea, sino que resulta de la ecuación 1

$$KWO = \frac{\pi}{Z} - 2 \arccos\left(\frac{A}{DE}\right) \quad (\text{Ec. 1})$$

35 siendo  $KWO$  el ángulo de cresta del perfil que roza con exactitud en la medida de arco y  $\pi$  el número del círculo ( $\pi \approx 3,14159$ ). La suma de los ángulos de cresta a través de los dos elementos de un par de elementos engranados de manera estanca  $SKWO$  da como resultado obligatoriamente

$$SKWO = 2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{DE}\right) \quad (\text{Ec. 2})$$

40 Es sabido por el experto que los perfiles helicoidales que engranan directamente no pueden utilizarse directamente en una extrusora de dos husillos, más bien son necesarias holguras entre los tornillos sin fin. Los datos de geometría para las geometrías de tornillo sin fin expuestas se obtienen por el experto sobre la base del contorno de tornillos sin fin que engranan con exactitud con métodos conocidos, tal como se muestra por ejemplo en [1]. Para elementos de transporte se describen en [1] en las páginas 28 y siguientes distintas estrategias posibles. Con el uso de los equidistantes de espacio o de sección longitudinal allí indicados se reducen los ángulos de cresta  $KWA0$  de los

5 tornillo sin fin realmente mostrados, tales como se muestra por ejemplo en [1], pág. 100, con respecto al *KW0*. En particular una holgura grande entre los tornillos sin fin lleva a la disminución de *KWA0*. Una holgura grande entre los tornillos sin fin para la disminución del ángulo de cresta es sin embargo desfavorable, debido a que se reduce el efecto de la autolimpieza mutua de los tornillos sin fin y se producen largos tiempos de estadía en la superficie de los elementos de tornillo sin fin, que lleva al daño del producto localizado y con ello a un empeoramiento de la calidad del producto. Es sabido también por el experto que mediante ampliación de las holguras se influye negativamente en la eficacia de elementos de tornillo sin fin en cuanto al efecto de transporte y establecimiento de la presión, de modo que para satisfacer un objetivo técnico de procedimiento dado las holguras no tienen que seleccionarse demasiado grandes.

10 Si zonas de una extrusora de dos husillos se accionan parcialmente llenas con masa fundida, lo que sucede por ejemplo para la desgasificación o como reserva para una zona de establecimiento de la presión, entonces la masa fundida rota antes de engranar [1]. Cada perfil helicoidal tiene a este respecto un flanco "que desplaza" la masa fundida y un flanco "que arrastra" la masa fundida. El árbol de tornillo sin fin se gira de modo que el flanco "que desplaza" se adelanta y el flanco que arrastra va detrás. En el estado parcialmente lleno, la masa fundida gira delante del flanco "que desplaza". La disipación de energía así como la efectividad por ejemplo para objetivos de desgasificación en esta masa fundida que gira depende, además del ángulo de cresta y de las holguras, también de la geometría del canal de masa fundida delante del flanco "que desplaza". Una posibilidad de ajustar esta geometría a la tarea, falta de acuerdo con el estado de la técnica.

20 En el funcionamiento, los árboles de extrusoras de varios árboles están montados habitualmente en el lado de accionamiento, que representa al mismo tiempo el lado de adición de producto, en el engranaje. En el lado de salida de producto se lleva a cabo un almacenamiento en el producto fundido líquido, dado que un almacenamiento externo en la zona de la salida de producto sería engorroso. Antes de que una extrusora de varios árboles se cargue con producto en un proceso de arranque, los árboles corren sin lubricación sobre sus crestas sobre el material de la carcasa. Esto puede llevar a abrasión, deterioro de árbol y carcasa así como a contaminación del producto. Para evitar un desgaste excesivo de las crestas, es necesario un cierto ángulo de cresta mínimo. Sería deseable por lo tanto poder seleccionar libremente este ángulo de cresta.

30 Las extrusoras de dos husillos pueden experimentar también desgaste. Éste puede aparecer en el caso de polímeros puros en la zona de fusión. Los productos, que están cargados con materiales de relleno y materiales de refuerzo sólidos tales como por ejemplo talco, carbonato de calcio o especialmente fibras de vidrio, producen especialmente gran desgaste. También son posibles ataques corrosivos cuando el producto contiene o desprende por ejemplo ácidos. Ataques abrasivos y ataques corrosivos de este tipo actúan de manera especialmente fuerte sobre los cantos, que delimitan la cresta de un perfil, en el que pueden producirse por ejemplo desgaste de material o desmoronamiento. Tales variaciones en la cresta de perfil influyen en la eficacia de la extrusora de varios árboles de manera decisiva, lo que es indeseado. Cantos redondeados serían claramente menos sensibles frente a influencias de este tipo, pero de acuerdo con el estado de la técnica no son posibles sin pérdida de la autolimpieza.

40 Partiendo del estado de la técnica, se plantea por lo tanto el objetivo de proporcionar elementos de tornillo sin fin que engranan de manera estanca para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles, que no se someten a las limitaciones mencionadas anteriormente de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con el estado de la técnica. Se plantea el objetivo de proporcionar elementos de tornillo sin fin en los que la entrada de energía esté reducida. Se plantea además el objetivo de proporcionar elementos de tornillo sin fin en los que la geometría del flanco que desplaza y que arrastra pueda diseñarse con respecto a la tarea respectiva de modo que se dé un tratamiento óptimo del producto en las máquinas de tornillo sin fin de varios árboles.

El documento EP-A-O 160 124 da a conocer un elemento de tornillo sin fin según el preámbulo de la reivindicación 1.

45 Sorprendentemente se encontraron elementos de tornillo sin fin con un ángulo de cresta reducido con respecto al estado de la técnica, que solucionan este objetivo. Por lo tanto son objeto de la invención elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la reivindicación 1 para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin del mismo sentido por parejas y que engranan con exactitud por parejas, con dos o más pasos de rosca helicoidales, caracterizado porque la suma *SKW* de todos los ángulos de cresta  $KW_k$  de un par de elementos que puede

50 seleccionarse libremente, es mayor que 0 e inferior a  $2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ , siendo *Z* el número de pasos de rosca, *A* la distancia entre ejes entre dos elementos de tornillo sin fin y *DE* el diámetro exterior de los elementos de tornillo sin fin, así como los elementos de tornillo sin fin derivados de estos perfiles que engranan con exactitud mediante el ajuste de holguras. El índice *k* pasa, en la suma a lo largo de todos los ángulos de cresta de 1 a  $2 \cdot Z$ . En el caso de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, las geometrías sobre el flanco que desplaza y el flanco que arrastra pueden configurarse individualmente según sea necesario y pueden redondearse según sea necesario los cantos de delimitan las crestas.

55 A este respecto la invención no está limitada a elementos de tornillo sin fin de construcción modular habitual hoy en día de un tornillo sin fin de elementos de tornillo sin fin y árboles de rosca, sino que también puede aplicarse a

tornillos sin fin en construcción maciza. Por lo tanto, por la expresión elementos de tornillo sin fin han de entenderse también tornillos sin fin en construcción maciza.

El número de pasos de rosca  $Z$  de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención asciende preferentemente a 2, 3, 4, 5, 6, 7 o 8; de manera especialmente preferente asciende a de 2 a 4.

- 5 El radio exterior de un perfil helicoidal asciende a  $RE=DE/2$ , el diámetro interior  $DK$  y el radio interior  $RK=DK/2$ . Por lo tanto siempre se cumple  $A=RE+RK$ .

El perfil de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención ("perfil helicoidal") se compone preferentemente de arcos circulares, que se funden tangencialmente. Estos perfiles helicoidales se componen de al menos  $6 \cdot Z$  arcos circulares.

- 10 El tamaño de un arco circular se da mediante la indicación de su ángulo central y su radio. A continuación el ángulo central de un arco circular se denomina abreviado como el ángulo de un arco circular. La posición de un arco circular se da por la posición de su punto central y por la posición de sus dos puntos de extremo.

El perfil de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se caracteriza porque uno o varios arcos circulares pueden tener un radio del tamaño cero. En este caso el perfil presenta uno o varios codos.

- 15 Un perfil helicoidal predeterminado sobre un primer árbol de una extrusora de dos husillos (el "de generación") determina inequívocamente el perfil helicoidal sobre un segundo árbol adyacente (el "generado"). El perfil helicoidal sobre un primer árbol de la extrusora de dos husillos se denomina por lo tanto el perfil helicoidal de generación, mientras que el perfil helicoidal sobre el segundo árbol adyacente de la extrusora de dos husillos se denomina el perfil helicoidal generado. En el caso de una extrusora de varios árboles se utilizan siempre de manera alterna el perfil helicoidal de generación y el perfil helicoidal generado sobre árboles adyacentes.

- 20 Los perfiles helicoidales de acuerdo con la invención son siempre cerrados y convexos. La suma de los ángulos de los arcos circulares individuales para cada elemento es siempre  $2\pi$ .

Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se caracterizan porque en cada caso un arco circular del perfil helicoidal generado "corresponde" con un arco circular del perfil helicoidal de generación. Por "corresponder" se entiende que

- 25
- los ángulos de arcos circulares correspondientes son del mismo tamaño,
  - la suma de los radios de arcos circulares correspondientes es igual a la distancia entre ejes,
  - en cada caso una de las líneas de unión entre el punto central de un arco circular del perfil helicoidal de generación y sus puntos de extremo discurre en paralelo a en cada caso una de las líneas de unión entre el punto central del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado y sus puntos de extremo,
  - las direcciones, en las que se encuentran los puntos de extremo de un arco circular del perfil helicoidal de generación desde el punto central del arco circular, son en cada caso opuestas a las direcciones, en las que se encuentran los puntos de extremo del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado desde el punto central del arco circular del perfil helicoidal generado,
  - el punto central de un arco circular del perfil helicoidal de generación tiene una distancia al punto central de un arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado, que corresponde a la distancia entre ejes,
  - la línea de unión entre el punto central de un arco circular del perfil helicoidal de generación y el punto central del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado está en paralelo a la línea de unión entre el punto de giro del perfil helicoidal de generación y el punto de giro del perfil helicoidal generado,
  - la dirección, en la que el punto central de un arco circular del perfil helicoidal de generación tendría que desplazarse, para hacer que coincida con el punto central del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado, es la misma en la que el punto de giro del perfil helicoidal de generación desde desplazarse, para hacer que coincida con el punto de giro del perfil helicoidal generado.

- 30
- 35
- 40
- 45 La figura 1 muestra un ejemplo de dos arcos circulares correspondientes. El punto central de giro del tornillo sin fin de generación es  $DR$  y el punto central de giro del tornillo sin fin generado es  $DL$ . En esta figura el arco circular 1 es el de generación y el arco circular 1' el generado.

Un perfil helicoidal de generación de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención tiene  $Z$  arcos circulares, cuyos radios son iguales a  $RE$  y cuyos puntos centrales coinciden con el punto central de giro ("arcos de cresta").

- 50 Un perfil helicoidal de generación de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención tiene  $Z$  arcos circulares, cuyos radios son iguales a  $RK$  y cuyos puntos centrales coinciden con el punto central de giro ("arcos de surco"). El perfil helicoidal generado correspondiente tiene así mismo  $Z$  arcos de cresta y  $Z$  arcos de surco.

La suma de los ángulos de los arcos de cresta y arcos de surco de los perfiles helicoidales de generación de acuerdo con la invención puede seleccionarse libremente, mayor que 0 e inferior a  $2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ .

La suma el ángulo de todos los arcos de cresta del perfil helicoidal generado y del perfil helicoidal de generación es igual a la suma de los ángulos de cresta y ángulos de surco del perfil helicoidal de generación y, de acuerdo con la

5 invención es mayor que 0 e inferior a  $2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ .

10 En una realización preferida de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención están dispuestos arcos de cresta y arcos de surco de modo que aparecen de manera alterna en la vuelta alrededor del perfil, es decir, en la vuelta a cada arco de cresta le sigue un arco de surco y a cada arco de surco le sigue un arco de cresta. A partir de esto resulta para el perfil helicoidal generado a la fuerza que los arcos de cresta y arcos de surco están dispuestos de modo que aparecen de manera alterna en la vuelta alrededor del perfil, es decir, en la vuelta a cada arco de cresta le sigue un arco de surco y a cada arco de surco le sigue un arco de cresta.

15 En una forma de realización preferida de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, para un elemento de tornillo sin fin de generación pueden encontrarse una línea "K<sub>1</sub>", que se guía partiendo del punto central de giro del elemento hasta un punto sobre un arco de cresta, de modo que existen (Z-1) líneas adicionales, que se cortan en el punto central de giro del elemento de tornillo sin fin de generación con la primera línea y allí se encuentran con un ángulo  $2^{*(i-1)}*\pi/Z$  con respecto a la primera línea y en cada caso cortan un arco de cresta adicional del perfil de acuerdo con la invención, recorriendo i todos los números de 2 a Z. Estas líneas se denominan en lo sucesivo K<sub>i</sub>.

20 Para esta forma de realización preferida es válido además que cada línea, que parte del punto central de giro y se encuentra con respecto a la línea "K<sub>1</sub>" con un ángulo de  $(2^{*j-1})*\pi/Z$ , corta un arco de surco, recorriendo j todos los números de 1 a Z. Estas líneas se denominan en lo sucesivo N<sub>j</sub>.

Dos líneas K<sub>i</sub> y N<sub>j</sub> se denominan "adyacentes", cuando el ángulo entre ambas líneas asciende con exactitud a  $\pi/Z$ . Este es el caso de las líneas K<sub>1</sub> y N<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, ... así como de las líneas N<sub>1</sub> y K<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y K<sub>3</sub>, ... hasta N<sub>z</sub> y K<sub>i</sub>.

Para las realizaciones adicionales, el perfil helicoidal entre dos líneas adyacentes K<sub>i</sub> y N<sub>j</sub> se denomina "perfil parcial". Puede pensarse un perfil helicoidal total construido a partir de 2\*Z perfiles parciales.

25 Dos perfiles parciales se denominan "adyacentes" cuando se delimitan uno a otro mediante una línea común K<sub>i</sub> o N<sub>j</sub>.

30 El número de arcos circulares en un perfil parcial de acuerdo con la invención asciende al menos a cuatro. Cuando dos arcos circulares adyacentes, que se funden directamente en una de las líneas K<sub>i</sub> o N<sub>j</sub>, que presentan puntos centrales iguales y radios iguales, es posible reunir estos dos arcos circulares en la numeración de los arcos circulares para el perfil total dando un único arco circular, de modo que este número de arcos circulares para el perfil total pueda ser menor que la suma de los números de los arcos circulares para cada perfil parcial individual.

Dos perfiles parciales se denominan correspondientes cuando todos los círculos parciales de los dos perfiles parciales corresponden entre sí.

35 En una forma de realización preferida de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, al menos un arco circular del perfil helicoidal de generación, que es adyacente a un arco de cresta, es un arco circular con el radio 0 (es decir un canto afilado) y al menos un arco circular del perfil helicoidal de generación, que es adyacente a un arco de surco, es un arco circular con un radio igual a la distancia entre ejes A. Esto lleva obligatoriamente a que sobre el perfil helicoidal generado al menos un arco circular, que es adyacente a un arco de cresta, sea un arco circular con el radio 0 y al menos un arco circular, que es adyacente a un arco de surco, tenga el radio A = distancia entre ejes.

40 En una realización preferida adicional de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, al menos un arco circular del perfil helicoidal de generación, que es adyacente a un arco de cresta, es un arco circular con un radio > 0 e inferior a 0,1 veces el diámetro de tornillo sin fin DE y al menos un arco circular del perfil helicoidal de generación, que es adyacente a un arco de surco, es un arco circular con un radio inferior a la distancia entre ejes A y mayor que A-0,1\*DE. Esto lleva obligatoriamente a que sobre el perfil helicoidal generado al menos un arco circular, que es adyacente a un arco de cresta, sea un arco circular con un radio > 0 e inferior a 0,1 veces el diámetro de tornillo sin fin DE y al menos un arco circular, que es adyacente a un arco de surco, tenga un radio inferior a A y mayor que A-0,1\*DE.

50 En una forma de realización preferida, el perfil helicoidal de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención sobre los dos árboles de tornillo sin fin, hasta opcionalmente una rotación de  $\pi/Z$  para justo Z, es idéntico y tiene simetría puntual con respecto al punto de giro del perfil respectivo. Este perfil se caracteriza porque consiste en dos tipos de perfiles parciales (en lo sucesivo denominados "X" e "Y"). El perfil parcial X pertenece al perfil helicoidal de

generación y el perfil parcial Y pertenece al perfil helicoidal generado. Mediante rotación del perfil X alrededor del punto central de giro del perfil helicoidal de generación de  $2\pi k/Z$ , recorriendo  $k$  todos los números enteros desde 1 hasta  $Z-1$ , se completa el perfil helicoidal en las secciones parciales respectivas. Mediante rotación del perfil Y alrededor del punto central de giro del perfil helicoidal generado de  $2\pi k/Z$ , recorriendo  $k$  todos los números enteros desde 1 hasta  $Z-1$ , se completa el perfil helicoidal en las secciones parciales respectivas. Además, el perfil helicoidal de generación se completa mediante perfiles parciales Y, concretamente de tal manera que los perfiles parciales Y se copian por el perfil helicoidal generado mediante un desplazamiento de la distancia entre ejes en dirección desde el punto central de giro del perfil helicoidal generado hasta el punto central de giro del perfil helicoidal de generación y en el caso de justo Z adicionalmente mediante rotación de  $\pi/Z$  sobre el perfil de generación. Además, el perfil helicoidal generado se completa mediante perfiles parciales X, concretamente de tal manera que los perfiles parciales X se copien por el perfil helicoidal de generación mediante un desplazamiento de la distancia entre ejes en dirección desde el punto central de giro del perfil helicoidal de generación hasta el punto central de giro del perfil helicoidal generado y en el caso de justo Z adicionalmente mediante rotación de  $\pi/Z$  sobre el perfil generado. El número de arcos circulares de una sección parcial es mayor o igual a cuatro, preferentemente mayor o igual a seis.

En una forma de realización preferida adicional de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, el perfil helicoidal sobre ambos árboles de tornillo sin fin, hasta dado el caso sobre una rotación de  $\pi/Z$  para justo Z, es idéntico, tiene simetría puntual con respecto al punto de giro del perfil respectivo y además se caracteriza porque todas las líneas  $K_i$  y  $N_j$  representan líneas de simetría del perfil. En este caso el perfil está determinado inequívocamente por el perfil parcial entre las líneas  $K_1$  y  $N_1$  y se obtiene, partiendo de este perfil parcial, en cada caso para un perfil parcial adyacente mediante reflexión con respecto a la línea de simetría entre los dos perfiles parciales. Para la descripción de los perfiles helicoidales tanto con simetría puntual como simetría especular se introduce la línea FP. FP tiene una distancia mínima desde punto central de giro, que asciende a  $A/2$ , corta las líneas  $K_1$  y  $N_1$  y se encuentra en perpendicular a las bisectrices entre  $N_1$  y  $K_1$ .

El perfil parcial entre las líneas  $K_1$  y  $N_1$  de esta forma de realización preferida de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se caracteriza porque los arcos circulares del perfil parcial se funden tangencialmente en un punto, que se encuentra sobre FP. De esta manera FP es una tangente a estos arcos circulares. Por el punto, en el que los arcos circulares son tangenciales a FP, se divide el perfil parcial X en dos perfiles parciales adicionales, X1 y X2. El perfil parcial X1 comprende aquellos arcos circulares, partiendo de  $K_1$  hasta el punto de contacto con FP y el perfil parcial X2 aquellos arcos circulares, partiendo del punto de contacto con FP hasta  $N_1$ . El perfil parcial Y1 sobre el tornillo sin fin generado es aquél que corresponde a los arcos circulares de X1. Mediante reflexión con respecto a una recta, que se encuentra en perpendicular en el centro entre los puntos de giro de los dos perfiles helicoidales, y mediante rotación posterior alrededor del punto central de giro del perfil generado de  $\pi/Z$ , se traslada el perfil parcial Y1 sobre el perfil parcial X2. El perfil parcial X completado con ello puede generar mediante reflexión consecutiva con respecto a las líneas  $N_1$ ,  $K_2$ ,  $N_2$ , ... el perfil helicoidal de generación completo. El perfil helicoidal sobre el tornillo sin fin generado se obtiene mediante desplazamiento del perfil helicoidal sobre el tornillo sin fin de generación y, en caso de que Z es justo, mediante rotación alrededor del punto central de giro del perfil generado de  $\pi/Z$ .

Para los perfiles helicoidales de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención pueden usarse holguras en el intervalo de 0,1 a 0,001 con respecto al diámetro del perfil helicoidal, preferentemente de 0,002 a 0,05 y de manera especialmente preferente de 0,004 a 0,02. Las holguras, tal como conoce el experto, entre tornillo sin fin y carcasa y entre tornillo sin fin y tornillo sin fin pueden ser de diferente tamaño o iguales. La holgura entre tornillo sin fin y carcasa se denomina  $\delta$ , la holgura entre tornillo sin fin y tornillo sin fin se denomina  $s$ . Las holguras pueden ser también constantes o, en los límites indicados, variables. Es también posible, desplazar un perfil helicoidal dentro de las holguras. El experto conoce métodos para derivar, partiendo de un perfil helicoidal predeterminado, que roza con exactitud, un perfil helicoidal con holguras. Métodos conocidos para ello son por ejemplo las posibilidades descritas en [1] en las páginas 28 y siguientes de la ampliación de la distancia entre ejes, de las equidistantes en sección longitudinal y equidistantes espaciales. En el caso de la ampliación de la distancia entre ejes se construye un perfil helicoidal de diámetros menores y para apartar la cantidad de la holgura entre los tornillos sin fin. En el caso del método de las equidistantes en sección longitudinal se desplaza la curva de perfil en sección longitudinal (en paralelo al eje de giro del elemento respectivo) en la mitad de la holgura tornillo sin fin - tornillo sin fin en perpendicular a la curva de perfil hacia dentro, en dirección al eje de giro. En el caso del método de las equidistantes espaciales, partiendo de la curva espacial, sobre la que se limpian los elementos de tornillo sin fin, se reduce el elemento de tornillo sin fin en la dirección perpendicular a las superficies del perfil que roza con exactitud en la mitad de la holgura entre tornillo sin fin y tornillo sin fin. Preferentemente se usan las equidistantes en sección longitudinal y las equidistantes espaciales, de manera especialmente preferente las equidistantes espaciales.

La relación  $RE/A$  del radio exterior  $RE$  del elemento de tornillo sin fin con respecto a la distancia entre ejes  $A$  asciende para tornillos sin fin de acuerdo con la invención de dos pasos de rosca preferentemente a entre 0,54 y 0,7 y de manera especialmente preferente a entre 0,58 y 0,63, para tornillos sin fin de tres pasos de rosca preferentemente a entre 0,53 y 0,57 y de manera especialmente preferente a entre 0,54 y 0,56, así como para tornillos sin fin de cuatro pasos de rosca preferentemente a entre 0,515 y 0,535.

Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención pueden estar diseñados como elementos de transporte o elementos de amasado o elementos de mezclado.

5 Un elemento de transporte se caracteriza como es sabido (véase por ejemplo [1], páginas 227 - 248), porque el perfil helicoidal se gira y continua en forma de tornillo de forma continua en la dirección del eje. A este respecto el elemento de transporte puede ser de paso de rosca derecho o de paso de rosca izquierdo. La inclinación del elemento de transporte se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,1 veces a 10 veces la distancia entre ejes, entendiéndose por inclinación la longitud axial que es necesaria para una rotación completa del perfil helicoidal, y la longitud axial de un elemento de transporte se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,1 veces a 10 veces el diámetro de tornillo sin fin.

10 Un elemento de amasado se caracteriza como es sabido (véase por ejemplo [1], páginas 227 - 248), porque el perfil helicoidal en la dirección del eje se continua de manera separada en forma de discos de amasado. La disposición de los discos de amasado puede realizarse de manera de paso de rosca derecho o de paso de rosca izquierdo o neutra de transporte. La longitud axial de los discos de amasado se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,05 veces a 10 veces la distancia entre ejes. La distancia axial entre dos discos de amasado adyacentes se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,002 veces a 0,1 veces el diámetro de tornillo sin fin.

15 Los elementos de mezclado se forman como es sabido (véase por ejemplo [1], páginas 227 - 248), porque elementos de transporte se realizan con rupturas en las crestas de tornillo sin fin. Los elementos de mezclado pueden ser de paso de rosca izquierdo o de paso de rosca derecho. Su inclinación se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,1 veces a 10 veces la distancia entre ejes y la longitud axial de los elementos se encuentra preferentemente en el intervalo de 0,1 veces a 10 veces la distancia entre ejes. Las rupturas tienen preferentemente la forma de una ranura en forma de u o en forma de v, que preferentemente están dispuestas de manera que transportan de forma opuesta o de manera paralela al eje. Preferentemente están presentes varias rupturas, que están dispuestas en ángulo una con respecto a otra.

20 Objeto de la presente invención es además el uso de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención en máquinas de tornillo sin fin de varios árboles. Preferentemente los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención se utilizan en máquinas de tornillo sin fin de dos árboles. Los elementos de tornillo sin fin pueden encontrarse en las máquinas de tornillo sin fin de varios árboles en forma de elementos de amasado, de mezclado o de transporte. Así mismo es posible combinar entre sí elementos de amasado, de transporte y de mezclado en una máquina de tornillo sin fin. Los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención pueden combinarse también con otros elementos de tornillo sin fin, que se conocen por ejemplo de acuerdo con el estado de la técnica.

25 Objeto de la presente invención es además un procedimiento para la generación de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención. El procedimiento de acuerdo con la invención permite la construcción geométrica de perfiles parciales correspondientes sólo con compás y recta de ángulo, de modo que es fácil de comprender. De manera ventajosa se implementa como programa informático. En primer lugar se establecen las magnitudes de definición  $Z$ ,  $DE$  y  $A$  de los elementos de tornillo sin fin a construir. Entonces se marcan los puntos de giro del perfil parcial de generación y del perfil parcial generado con la distancia  $A$ . La línea  $K_1$ , que va hasta un punto del arco de cresta, se selecciona convenientemente de modo que parte del punto de giro del perfil de generación y va en la dirección del punto de giro del perfil generado.

30 La línea  $N_1$  se dibuja en el punto de giro del perfil parcial de generación con un ángulo de  $\pi/Z$  con respecto a la línea  $K_1$ . Las magnitudes  $RE=DE/2$  y  $RK=A-RE$  se calculan. Entonces se establece el número de arcos circulares del perfil parcial  $n$ . El número de arcos circulares  $n$  es preferentemente 6, pero también puede ser menor o mayor.

35 A continuación se selecciona el ángulo de cresta  $\alpha$  y un arco circular con un ángulo entre 0 y  $\alpha$ , preferentemente  $\alpha/2$ , y describiéndose un radio  $RE$  con el punto central del tornillo sin fin de generación como punto central del círculo, encontrándose un extremo del arco sobre la línea  $K_1$  y describiéndose el arco en dirección  $N_1$ . Para el ángulo de surco se selecciona el ángulo  $\beta$ , que puede ser igual a  $\alpha$ , pero no tiene que serlo forzosamente. Para ello se describe un arco  $\beta/2$  por la línea  $N_1$  en dirección  $K_1$ , que representa el arco de surco.

40 A continuación se dibuja el arco circular tangencial 2, que toca con el arco de cresta. Para este arco circular puede seleccionarse ángulo y radio, debiendo ser el radio del arco circular menor o igual a la distancia entre ejes. En la elección puede ocurrir que en etapas posteriores ya no se logre el cierre del perfil parcial, debido a que las condiciones "perfil cerrado" o "perfil convexo" se dañan. Si este es el caso, entonces deben reducirse el ángulo o el radio e inicial un nuevo intento. El arco circular puede tener también el radio 0.

45 Para la construcción de un arco circular tangencial se aprecia siempre una recta perpendicular desde el punto de extremo de un arco circular ya existente en dirección del punto central de este arco circular existente del perfil helicoidal de generación. Esta recta perpendicular se denomina "delimitación" de dos arcos circulares. A cada delimitación se asocia una dirección, que partiendo del punto central del arco circular y lleva al punto de extremo del arco circular respectivo. Sobre la delimitación se encuentran siempre los puntos centrales de ambos arcos circulares tangenciales. El punto central del arco circular del arco circular buscado se obtiene, describiéndose un círculo alrededor del punto de extremo del arco circular existente con el radio del arco circular buscado. El punto de corte de

este círculo con la delimitación es el punto central buscado.

Un arco circular, cuyo radio es igual a 0, se trata como un arco circular con un radio eps muy pequeño, tendiendo eps a 0, de modo que puede construirse además la transición tangencial. Como alternativa, un arco circular, cuyo radio es igual a 0, puede tratarse de modo que el perfil helicoidal en la posición de este arco circular presenta un codo, estando determinada la magnitud del codo por el ángulo de este arco circular.

Después pueden conectarse también uno o varios arcos circulares tangenciales 3, 4, ... a n-4. Para los arcos circulares n-3, n-2 y n-1 se establecen los radios  $r(n-3)$ ,  $r(n-2)$  y  $r(n-1)$ . El radio del arco circular n-1 se selecciona igual a A, cuando el perfil helicoidal generado debe tener un canto afilado en la cresta.

El perfil se cierra entonces de la siguiente manera: alrededor del punto central del arco circular n-3 se describe un círculo con el radio  $r(n-3) - r(n-2)$ . Alrededor del punto central del arco circular n-1 se describe un círculo con el radio  $r(n-1) - r(n-2)$ . Aquel de los dos puntos de corte de estos círculos, que se encuentre entre  $N_1$  y  $K_1$  en su dirección respectiva, es el punto central del círculo n-2. La delimitación del arco circular n-1 resulta entonces a través de la unión del punto central del arco circular n-1 con el punto central del arco circular n-2, de manera correspondiente para la delimitación del arco circular n-3 y n-2. Los arcos circulares n-3, n-2 y n-1 se describen entonces, delimitados por su delimitación.

El perfil parcial correspondiente sobre el tornillo sin fin generado se genera de la siguiente manera: todos los puntos centrales de los arcos circulares  $M_1, M_2$  a  $M_n$  se desplazan en paralelo a la línea entre el punto de giro del perfil de generación y el punto de giro del perfil generado la distancia entre ejes en dirección del perfil generado y así resultan los puntos correspondientes  $M_1', M_2'$  a  $M_n'$ . Las delimitaciones, que cortan los puntos  $M_1$  a  $M_n$ , se desplazan en primer lugar así mismo en paralelo a la línea entre el punto de giro del perfil de generación y el punto de giro del perfil generado la distancia entre ejes en dirección del perfil generado. Estas delimitaciones desplazadas se corta en cada caso en los puntos correspondientes  $M_1', M_2'$  a  $M_n'$ . Si se prolongan en cada caso en contra de su dirección a través del punto respectivo  $M_1', M_2'$  a  $M_n'$  y un radio correspondiente  $r_1', r_2'$  a  $m'$  que parte del punto central respectivo  $M_1', M_2'$  a  $M_n'$  se pone sobre las delimitaciones prolongadas respectivas, de modo que la suma de los radios  $r_i$  y  $r_i'$  para todos los arcos circulares correspondientes  $i$  y  $i'$  es siempre igual a la distancia entre ejes, se obtienen las delimitaciones de los arcos circulares  $1', 2'$  a  $n'$  y con ello los propios arcos circulares correspondientes.

Se recomienda llevar a cabo el procedimiento para la generación de los perfiles helicoidales en un ordenador. Las dimensiones de los elementos de tornillo sin fin se encuentran entonces en una forma en la que pueden suministrarse a una máquina herramienta CNC (CNC = *Computerized Numerical Control*) para la generación de los elementos de tornillo sin fin. Por lo tanto es objeto de la presente invención también un producto de programa informático, con medios de código de programa para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención para la generación de perfiles helicoidales de acuerdo con la invención en un ordenador. En una forma de realización preferida se encuentra a disposición de un usuario del producto de programa informático una superficie de usuario preferentemente gráfica, con ayuda de la que el mismo puede introducir los parámetros a seleccionar (número de arcos circulares del perfil helicoidal de generación y generado, radios, ángulo). Preferentemente el mismo obtiene a este respecto apoyo del sistema informático que se indica al usuario cuándo mediante la elección de los valores de parámetro resultan perfiles helicoidales, que no están engranando por parejas. Preferentemente se da apoyo al mismo durante la introducción de los valores de parámetro de manera que se visualiza el intervalo de valores de parámetro permitidos. Por valores de parámetro permitidos se entienden aquellas combinaciones de valores de parámetro que llevan a perfiles de tornillo sin fin que engranan por parejas.

En una forma de realización preferida no sólo se construyen los perfiles sino elementos de tornillo sin fin completos virtualmente en el ordenador. El resultado de la construcción se emite preferentemente en forma de planos de construcción sobre una pantalla o en una impresora. Así mismo es concebible emitir el resultado como datos electrónicos, que pueden transmitirse en una forma de realización preferida a una fresadora CAD para la generación de los elementos de tornillo sin fin correspondientes.

Después de que los perfiles se han generado de la manera descrita, los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención pueden generarse por ejemplo con una fresadora, un torno o una bobinadora. Materiales preferidos para la generación de los elementos de tornillo sin fin son aceros, en particular aceros nitruados, aceros cromados, para herramientas y aceros finos, materiales compuestos metálicos producidos con técnica pulvimetalúrgica a base de hierro, níquel o cobalto, materiales cerámicos para ingeniería tales como por ejemplo óxido de zirconio o carburo de silicio.

El procedimiento de acuerdo con la invención permite conformar el perfil de un tornillo sin fin intrínsecamente de modo que sea adecuado de manera óptima para un objetivo predeterminado. Los elementos de tornillo sin fin conocidos de acuerdo con el estado de la técnica no están conformados en su mayor parte dirigidos a un objetivo concreto. Más bien los fabricantes suministran elementos de tornillo sin fin (elementos de transporte, de amasado y de mezclado) a partir un sistema modular fijado independientemente de un objetivo concreto. Mediante el procedimiento de acuerdo con la invención es posible conformar casi de manera completamente libre el perfil elementos de tornillo sin fin autolimpiables y con ello optimizar dirigiéndose a una aplicación mediante la mínima variación de los parámetros para la aplicación respectiva. En este contexto ha de indicarse que el número de arcos

circulares para la generación de perfiles helicoidales no está limitado. De esta manera es posible aproximar perfiles helicoidales, que no están contruidos a partir de arcos circulares y por lo tanto son autolimpiantes, mediante un número suficientemente alto de arcos circulares con una precisión deseada. A este respecto el perfil aproximado por medio de arcos circulares es naturalmente autolimpiante.

- 5 Ha de indicarse también que a partir de un perfil helicoidal (de generación o generado) puede calcularse el perfil de sección longitudinal correspondiente. Preferentemente se utiliza cada arco circular de un perfil helicoidal para calcular, por medio de una función explícita, una parte de la sección longitudinal que pertenece a este arco circular. Para calcular la distancia  $s$  de un punto de un arco circular de un perfil helicoidal se determina en una primera etapa el punto de corte ( $S_x$ ,  $S_y$ ) de una recta  $g$ , caracterizado porque dicha recta se encuentra en el plano del perfil
- 10 helicoidal, va a través del punto de giro del perfil helicoidal y la orientación de la recta se da por el ángulo  $\varphi$ , con un arco circular  $k_b$ , caracterizado por su  $r$  y la posición de su puntos central ( $M_x$ ,  $M_y$ ). En una segunda etapa se calcula la distancia del punto de corte ( $S_x$ ,  $S_y$ ) desde el punto de giro del perfil helicoidal. El cálculo de un punto de cortes de una recta con un arco circular puede representarse mediante una función explícita. Lo mismo se cumple para el cálculo de distancias. Para la distancia se cumple por lo tanto  $s=s(\varphi, r, M_x, M_y)$ . El ángulo  $\varphi$  puede convertirse con la inclinación conocida  $t$  de un elemento de tornillo sin fin a través de  $\varphi/2\pi^*t$  en una posición axial  $z_{ax}$ , de modo que para la distancia se cumple  $s=s(z_{ax}, r, M_x, M_y)=s(\varphi/2\pi^*t, r, M_x, M_y)$ . La función  $s(z_{ax}, r, M_x, M_y)$  describe el corte longitudinal buscado para un arco circular del perfil helicoidal.

La invención se explica en detalle a continuación por medio de las figuras sin limitarse sin embargo a las mismas.

- 20 **La figura 1** muestra esquemáticamente un ejemplo de dos arcos circulares correspondientes de un perfil helicoidal de generación y de un perfil helicoidal generado en sección transversal. El punto central de giro del perfil helicoidal de generación es DR y el punto central de giro del perfil helicoidal generado DL. En esta figura el arco circular 1 es un arco circular de generación y el arco circular 1' es un arco circular generado. El arco circular 1 tiene un punto central  $M_1$ , un radio  $r_1$  y un ángulo  $\alpha_1$ . El arco circular 1' tiene un punto central  $M_1'$ , un radio  $r_1'$  y un ángulo  $\alpha_1'$ , que, de acuerdo con la invención, es igual a  $\alpha_1$ . La suma de los radios  $r_1$  y  $r_1'$  es, de acuerdo con la invención, igual a la distancia entre ejes  $A$ . Las líneas de unión de trazos entre el punto central  $M_1$  del arco circular 1 y sus puntos de extremo forman las delimitaciones del arco circular 1. Discurren en cada caso en paralelo a las delimitaciones del arco circular correspondiente 1', es decir en paralelo a las líneas de unión de trazos entre el punto central  $M_1'$  del arco circular 1' y sus puntos de extremo.

- 30 Las direcciones, en las que se encuentran los puntos de extremo del arco circular 1 a partir del punto central  $M_1$  del arco circular 1, son en cada caso opuestas a las direcciones, en las que se encuentran los puntos de extremo del arco circular correspondiente 1' a partir del punto central del arco circular 1'.

El punto central  $M_1$  del arco circular 1 tiene una distancia al punto central  $M_1'$  del arco circular correspondiente 1', que corresponde a la distancia entre ejes.

- 35 La línea de unión entre el punto central  $M_1$  del arco circular 1 y el punto central  $M_1'$  del arco circular correspondiente 1' discurre en paralelo a la línea de unión entre el punto de giro DR y el punto de giro DL.

La dirección, en la que el punto central  $M_1$  del arco circular 1 tendría que desplazarse, para coincidir con el punto central  $M_1'$  del arco circular correspondiente 1', es la misma en la que el punto de giro DR tendría que desplazarse, para coincidir con el punto de giro DL.

- 40 **La figura 2** muestra los perfiles de elementos de tornillo sin fin conocidos, de dos pasos de rosca, de acuerdo con el estado de la técnica, en sección transversal. La distancia entre ejes asciende a 48 mm, el diámetro exterior de un perfil helicoidal asciende a 58 mm, el diámetro interior de manera correspondiente asciende a 38 mm y el ángulo de cresta  $KWO$  en la medida de arco asciende a 0,3788 (de manera correspondiente 21,7°). La suma de todos los ángulos de cresta  $SKWO$  asciende en la medida de arco a 1,5152.

- 45 **Las figuras 3a y 3b** muestran a modo de ejemplo en una representación esquemática en sección transversal un perfil parcial X del perfil parcial de generación y un perfil parcial Y correspondiente al mismo del perfil helicoidal generado por elementos de tornillo sin fin de dos pasos de rosca de acuerdo con la invención. El perfil parcial X se forma por los arcos circulares 1, 2, 3, 4, 5 y 6. El perfil parcial Y se forma por los arcos circulares 1', 2', 3', 4', 5' y 6' correspondientes a los arcos circulares respectivos del perfil parcial X. Los arcos circulares están definidos inequívocamente por sus puntos centrales respectivos  $M_1, M_2, \dots, M_6$  y  $M_1', M_2', \dots, M_6'$ , sus ángulos y radios respectivos (véase la figura 3a).

En el presente ejemplo la distancia entre ejes asciende a 48 mm, el diámetro exterior de un perfil helicoidal asciende a 58 mm y el diámetro interior asciende a 38 mm. El arco circular 1 es el arco de cresta del perfil parcial de generación, el arco circular 6 es el arco de surco. El arco circular 2 tiene un radio 0, es decir en el arco de cresta el perfil de generación tiene un codo.

- 55 En la figura 3b se han retirado por motivos de claridad los dibujos de los arcos circulares y puntos centrales. Los perfiles parciales X e Y son idénticos a los perfiles parciales mostrados en la figura 3a.

El perfil total de un par de elementos de tornillo sin fin de generación y generado puede generarse a partir del perfil parcial X que se encuentra entre las líneas adyacentes  $K_1$  y  $N_1$  (véase por ejemplo la figura 4 y el texto que describe la misma). La línea  $K_1$  discurre en horizontal, la línea  $N_1$  en perpendicular a una línea de unión a través de los puntos centrales de giro.

5 La siguiente tabla 1 muestra para un sistema de coordenadas, cuyo origen se encuentra en el punto de giro del árbol de tornillo sin fin de generación, cuyo eje x se encuentra en dirección del punto de giro del árbol de tornillo sin fin generado y cuyo eje y se encuentra en perpendicular al eje x (en las figuras hacia arriba), los radios de los arcos circulares, las coordenadas x y coordenadas y de los puntos centrales de los arcos circulares, el ángulo inicial de los arcos circulares, el ángulo final de los arcos circulares así como el ángulo de los arcos circulares para los arcos circulares mostrados en las figuras 3a y 3b. El ángulo inicial de un arco circular es el ángulo de una delimitación de un arco circular, que el sentido matemáticamente positivo tiene el valor menor. En el caso de arcos circulares, en los que el ángulo inicial es mayor que cero y el ángulo final es menor que cero, ha de añadirse considerando esto al ángulo final  $2*\pi$ .

15 **Tabla 1:** Magnitudes geométricas de los perfiles parciales X e Y de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, que están representadas en las figuras 3a y 3b.

Arco circular	Radio	Coordenada x Punto central	Coordenada y Punto central	Ángulo inicial	Ángulo final	Ángulo
	mm	mm	mm	rad	rad	rad
1	29	0	0	0,00000	0,08727	0,08727
2	0	28,8896	2,52750	0,08727	0,34907	0,2618
3	44	-12,4568	-12,5214	0,34907	0,53093	0,18187
4	3	22,8989	8,2385	0,53093	0,97032	0,43939
5	48	-2,5275	-28,8896	0,97032	1,48353	0,51321
6	19	0	0	1,48353	1,5708	0,08727
1'	19	48	0	-3,14159	-3,05433	0,08727
2'	48	76,8896	2,5275	-3,05433	-2,79253	0,2618
3'	4	35,5432	-12,5214	-2,79253	-2,61066	0,18187
4'	45	70,8989	8,2385	-2,61066	-2,17127	0,43939
5'	0	45,4725	-28,8896	-2,17127	-1,65806	0,51321
6'	29	48	0	-1,65806	-1,5708	0,08727

20 **La figura 4** muestra esquemáticamente en sección transversal elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención con un perfil helicoidal con simetría puntual, que resulta de las figuras 3a o 3b, cuando se continúan con simetría puntual los perfiles parciales mostrados en las figuras 3a y 3b. Todos los ángulos de cresta son idénticos e iguales a  $0,17454$  ( $10^\circ$ ). A modo de ejemplo está marcado un ángulo de cresta  $KW$ . La suma de todos los ángulos de cresta  $SKW$  asciende a  $0,698$ , menos de la mitad del elemento de acuerdo con el estado de la técnica. Esto es una clara ventaja con respecto al estado de la técnica. Este perfil helicoidal tiene también la ventaja de que en la dirección de giro en sentido de las agujas del reloj, el flanco que desplaza forma un ángulo claramente mayor con la carcasa que el lado que arrastra, lo que en llenado parcial lleva de nuevo a una entrada de energía claramente reducida. Así mismo puede invertirse la dirección de giro, lo que lleva a una extensión aumentada en la cresta.

25 **La figura 5** muestra esquemáticamente en sección transversal elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención con un perfil helicoidal con simetría especular y simetría puntual. En el presente ejemplo la distancia entre ejes asciende a  $48$  mm, el diámetro exterior del perfil helicoidal  $58$  mm, el diámetro interior de manera correspondiente asciende a  $38$  mm y cada uno de los ángulos de cresta asciende a  $0,175$  ( $10^\circ$ ). A modo de ejemplo se marca un ángulo de cresta  $KW$ . La suma de todos los ángulos de cresta  $SKW$  asciende a  $0,69813$ , menos de la mitad que la suma de los ángulos de cresta del elemento de acuerdo con el estado de la técnica. La ventaja se encuentra a este respecto en la menor disipación de energía.

30 **La figura 6** muestra esquemáticamente en sección transversal los perfiles de elementos de tornillo sin fin de dos pasos de rosca, conocidos de acuerdo con el estado de la técnica. La distancia entre ejes asciende a  $48$  mm, el diámetro exterior de un perfil helicoidal asciende a  $56$  mm, el diámetro interior asciende a  $40$  mm y el ángulo de cresta  $KWO$  asciende a  $0,4886$ . La suma de todos los ángulos de cresta  $SKWO$  en ambos elementos asciende a  $1,954$ . Si se compara este perfil helicoidal con el de la figura 2, se reconoce claramente la dependencia desfavorable de acuerdo con el estado de la técnica del ángulo de cresta de la relación de distancia entre ejes y diámetro según la ecuación 1.

Las figuras 7a y 7b muestran dos perfiles parciales X correspondientes (perfil helicoidal de generación) e Y (perfil helicoidal generado) de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención. El perfil parcial X se forma por los arcos circulares 1, 2, 3, 4, 5 y 6. El perfil parcial Y se forma por los arcos circulares correspondientes 1', 2', 3', 4', 5' y 6' de manera correspondiente. Los puntos centrales de los arcos circulares están representados por pequeños círculos. Las delimitaciones de los arcos circulares están representadas como líneas delgadas. En el presente ejemplo la distancia entre ejes asciende a 48 mm, el diámetro exterior de un perfil helicoidal asciende a 56 mm, el diámetro interior 40 mm. El arco circular 1 es el arco de cresta y el arco circular 6 es el arco de surco del perfil parcial de generación. El arco circular 2, que conecta con el arco de cresta, tiene un radio  $> 0$ , es decir el perfil tiene en este punto no tiene ningún canto, a diferencia del perfil mostrado en las figuras 3a y 3b.

El arco circular 5', que limita con el arco de cresta 6', tiene un radio 0, es decir en el arco de cresta el perfil generado tiene un codo. El punto central del arco circular 5' coincide con el codo. El "tamaño del codo" se da por el ángulo correspondiente, es decir la transición desde el arco circular 4' hasta el arco circular 6' tiene lugar mediante rotación alrededor del ángulo del arco circular 5'. O expresado de otro modo: una tangente al arco circular 4' en el punto central del arco circular 5' corta una tangente al arco circular 6' así mismo en el punto central del arco circular 5' con un ángulo que corresponde al ángulo del arco circular 5'. Teniendo en cuenta el arco circular 5', sin embargo todos los arcos circulares 4' → 5', 5' → 6' adyacentes se funden tangencialmente de acuerdo con la invención.

Los perfiles parciales X e Y mostrados en la figura 7b son idénticos a los perfiles parciales mostrados en la figura 7a. En la figura 7b se prescindió, por motivos de claridad, de la denominación de los arcos circulares, los puntos centrales y las delimitaciones. En su lugar se muestran las líneas  $K_1$  y  $N_1$ . La línea  $K_1$  discurre en horizontal, la línea  $N_1$  en perpendicular a una línea de unión a través de los puntos centrales de unión. El perfil total de un par de elementos de tornillo sin fin de generación y generado puede generarse a partir del perfil parcial X que se encuentra entre las líneas adyacentes  $K_1$  y  $N_1$  (véase por ejemplo la figura 8 y el texto que describe la misma).

La figura 7c muestra para todos los arcos circulares de la figura 7a las coordenadas x e y ( $M_x$  y  $M_y$ ) de los puntos centrales, los radios R y los ángulos  $\alpha$  de los arcos circulares. Los datos angulares tienen lugar en la medida de arco; todos los demás datos de medida están normalizados a la distancia entre ejes y por lo tanto son adimensionales.

La siguiente tabla 2 muestra para un sistema de coordenadas, cuyo origen se encuentra en el punto de giro del árbol de tornillo sin fin de generación, cuyo eje x se encuentra en dirección del punto de giro del árbol de tornillo sin fin generado y cuyo eje y se encuentra en perpendicular al eje x (en las figuras hacia arriba), los radios de los arcos circulares, las coordenadas x y coordenadas y de los puntos centrales de los arcos circulares, el ángulo inicial de los arcos circulares, el ángulo final de los arcos circulares así como el ángulo de los arcos circulares para las figuras 7a y 7b.

**Tabla 2:** Magnitudes geométricas de los perfiles parciales X e Y de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, que están representadas en las figuras 7a y 7b.

Arco circular	Radio	Coordenada x Punto central	Coordenada y Punto central	Ángulo inicial	Ángulo final	Ángulo
	mm	mm	mm	rad	rad	rad
1	28	0	0	0	0,06981	0,06981
2	3	24,9391	1,7439	0,06981	0,41888	0,34907
3	44	-12,5163	-14,9323	0,41888	0,72856	0,30968
4	3	18,0752	12,3654	0,72856	1,10954	0,38098
5	48	-1,9532	-27,9318	1,10954	1,50098	0,39144
6	20	0	0	1,50098	1,5708	0,06981
1'	20	48	0	-3,14159	-3,07178	0,06981
2'	45	72,9391	1,7439	-3,07178	-2,72271	0,34907
3'	4	35,4837	-14,9323	-2,72271	-2,41303	0,30968
4'	45	66,0752	12,3654	-2,41303	-2,03205	0,38098
5'	0	46,0468	-27,9318	-2,03205	-1,64061	0,39144
6'	28	48	0	-1,64061	-1,5708	0,06981

La figura 8 muestra esquemáticamente en sección transversal elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención con un perfil helicoidal con simetría puntual, que resulta de la figura 7, cuando se continua con simetría puntual. En el presente ejemplo todos los ángulos de cresta ascienden a 0,14. Un ángulo de cresta KW está marcado a modo de ejemplo. La suma de todos los ángulos de cresta SKW asciende a 0,56. Es decir, con un perfil

helicoidal de este tipo se logra en este caso una reducción del ángulo de cresta en un factor de aproximadamente 3,5, lo que lleva a una entrada de energía claramente reducida. Además, en el caso de rotación en sentido contrario al de las agujas del reloj, el canto del flanco de desplazamiento está redondeado, lo que ofrece ventajas lo que se refiere al desgaste.

5 **Las figuras 9a y 9b** muestran dos perfiles parciales X correspondientes (perfil helicoidal de generación) e Y (perfil helicoidal generado) de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención. El perfil parcial X se forma por los arcos circulares 1, 2 y 3. El perfil parcial Y se forma por los arcos circulares correspondientes 1', 2' y 3' de manera correspondiente. Los puntos centrales de los arcos circulares están representados mediante pequeños círculos. Las delimitaciones de los arcos circulares están representadas como líneas delgadas. En el presente ejemplo la distancia entre ejes asciende a  $A = 48$  mm, el diámetro del perfil helicoidal asciende a 52 mm y el número de pasos de rosca asciende a  $Z = 3$ .

10 Los perfiles parciales X e Y mostrados en la figura 9b son idénticos a los perfiles parciales mostrados en la figura 9a. En la figura 9b se prescindió, por motivos de claridad, de la denominación de los arcos circulares, los puntos centrales y las delimitaciones. En su lugar se muestran las líneas  $K_1$  y  $N_1$ , la bisectriz  $W-K_1N_1$  y la recta FP que discurre en perpendicular a la bisectriz. La recta FP toca el arco circular 3 en uno de sus puntos de extremo y discurre en este punto de extremo tangencialmente al arco circular 3. A partir del perfil parcial X puede construirse el perfil total de una forma de realización preferida de un elemento de tornillo sin fin de tres pasos de rosca simétrico (véase la figura 10 y el texto que describe la misma).

15 **La figura 9c** muestra para todos los arcos circulares de la figura 9a las coordenadas x e y ( $M_x$  y  $M_y$ ) de los puntos centrales, los radios R y los ángulos  $\alpha$  de los arcos circulares. Los datos angulares tienen lugar en la medida de arco; todos los demás datos de medida están normalizados a la distancia entre ejes y por lo tanto son adimensionales.

20 La siguiente tabla 3 muestra para un sistema de coordenadas, cuyo origen se encuentra en el punto de giro del árbol de tornillo sin fin de generación, cuyo eje x se encuentra en dirección del punto de giro del árbol de tornillo sin fin generado y cuyo eje y se encuentra en perpendicular al eje x (en las figuras hacia arriba), los radios de los arcos circulares, las coordenadas x y coordenadas y de los puntos centrales de los arcos circulares, el ángulo inicial de los arcos circulares, el ángulo final de los arcos circulares así como el ángulo de los arcos circulares para las figuras 9a y 9b.

25 **Tabla 3:** Magnitudes geométricas de los perfiles parciales X e Y de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, que están representadas en las figuras 9a y 9b.

Arco circular	Radio	Coordenada x Punto central	Coordenada y Punto central	Ángulo inicial	Ángulo final	Ángulo
	mm	mm	mm	rad	rad	rad
1	26	0	0	0	0,0524	0,0524
2	0	25,964	1,361	0,0524	0,3286	0,2762
3	44	-15,681	-12,839	0,3286	0,5236	0,1950
1'	22	48	0	-3,1416	-3,0892	0,0524
2'	48	73,964	1,361	-3,0892	-2,8130	0,2762
3'	4	32,319	-12,839	-2,8130	-2,6180	0,19501

30 **La figura 10** muestra esquemáticamente en sección transversal elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención con un perfil helicoidal con simetría especular y simetría puntual, que resulta de las figuras 9a o 9b, cuando se continua con simetría especular. Todos los ángulos de cresta ascienden a  $0,1048$  ( $6^\circ$ ), con respecto a un ángulo de cresta  $KWO$  de  $0,2576$  en elementos de tornillo sin fin convencionales.

35 **La figura 11a** muestra a modo de ejemplo dos perfiles parciales correspondientes X1 (perfil helicoidal de generación) e Y1 (perfil helicoidal generado) de elementos de tornillo sin fin con simetría puntual y simetría especular de acuerdo con la invención. El perfil parcial X1 se forma por los arcos circulares 1 y 2. El perfil parcial Y1 se forma por los arcos circulares correspondientes 1' y 2' de manera correspondiente. Los arcos circulares 2 y 2' son tangenciales a la recta FP. Se indican los ángulos en la medida de arco de los arcos circulares y las coordenadas de los puntos centrales de los arcos circulares en un sistema de coordenadas, cuyo origen está en el punto de giro del perfil izquierdo. La relación de radio exterior con respecto a distancia entre ejes asciende a  $0,6042$ .

40 **La figura 11b** muestra cómo puede continuarse el perfil de la figura 11a mediante reflexión con respecto a una recta, que se encuentra en perpendicular en el centro entre los puntos de giro de los dos perfiles helicoidales, y mediante rotación posterior alrededor del punto central de giro del perfil generado de  $\pi/Z$ . Mediante esta continuación se obtienen los perfiles parciales X2 e Y2. La descripción de los arcos circulares corresponde a la de la figura 11a.

5 **La figura 11c** muestra la continuación del perfil a partir del perfil 11b mediante rotación y reflexión con respecto a los perfiles totales de generación y generados. Los perfiles helicoidales así obtenidos tienen ángulos de cresta con un tamaño de 0,2795. Un elemento de tornillo sin fin de acuerdo con el estado de la técnica tenía con esta relación de radio exterior con respecto a la distancia entre ejes un ángulo de cresta  $KW0$  de 0,379. La suma de todos los ángulos de cresta  $SKW$  es de manera correspondiente 1,117, con respecto a una suma de todos los ángulos de cresta de acuerdo con el estado de la técnica de 1,515. Un perfil total en esta figura está compuesto en cada caso por en total 12 arcos circulares, el número mínimo de arcos circulares para un perfil con  $Z=2$ .

10 **La figura 12a** muestra dos perfiles parciales correspondientes X1 (perfil helicoidal de generación) e Y1 (perfil helicoidal generado) de un ejemplo de elementos de tornillo sin fin con simetría puntual y especular de acuerdo con la invención. El perfil parcial X1 se forma por los arcos circulares 1, 2 y 3. El perfil parcial Y1 se forma por los arcos circulares correspondientes 1', 2' y 3' de manera correspondiente. La distancia de los puntos de giro está normalizada a 1. El arco circular 3 es tangencial a la recta FP. En la tabla 4 están indicados los radios, ángulos, puntos iniciales de los arcos circulares y puntos centrales de los arcos circulares.

15 **Tabla 4:** Magnitudes geométricas de los perfiles parciales X e Y de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la invención, que están representadas en las figuras 12a, 12b y 12c.

Radio	Ángulo	Coordenada x Punto inicial	Coordenada y Punto inicial	Coordenada x Punto central	Coordenada y Punto central
0,6	0,0799	0,6	0	0	0
0	0,3943	0,5981	0,0479	0,5981	0,0479
0,9	0,3112	0,5981	0,0479	-0,2026	-0,3631

20 **La figura 12b** muestra el perfil que roza con exactitud, que resulta de la figura 12a mediante reflexión, continuación y rotación de acuerdo con la invención. El ángulo de cresta  $KW$  del contorno de tornillos sin fin que engranan es 0,1598. La suma de todos los ángulos de cresta  $SKW$  es 0,3196. Un contorno que roza con exactitud de acuerdo con el estado de la técnica tiene un ángulo de cresta  $KW0$  de 0,399 y una suma de todos los ángulos de cresta  $SKW0$  de 0,799.

**La figura 12c** muestra un perfil, que se construyó partiendo del perfil que roza con exactitud en la figura 12b según el método del equidistante de espacio. El diámetro de carcasa es 0,61 y las holguras entre carcasa y tornillo sin fin  $\delta$  y entre tornillo sin fin y tornillo sin fin s son en cada caso 0,02. La inclinación es 1,2.

25 El ángulo de cresta realizado de este perfil es  $KWA = 0,208$ . La suma de todos los ángulos de cresta  $SKWA$  realizados es 0,319.

**La figura 12d** muestra un perfil de manera correspondiente al estado de la técnica, con holguras idénticas e inclinación idéntica que en la figura 12c. El perfil tiene un ángulo de cresta  $KWA0$  realizado de 0,329 y una suma de los ángulos de cresta realizados de 0,658.

**REIVINDICACIONES**

1. Elementos de tornillo sin fin para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin del mismo sentido por parejas y que engranan con exactitud por parejas, con dos o más pasos de rosca helicoidales  $Z$ , con distancia entre ejes  $A$  y diámetro exterior  $DE$ , **caracterizados porque** la suma de los ángulos de cresta de un
- 5 par de elementos es mayor que 0 y menor que  $2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$  y los perfiles helicoidales presentan holguras en el intervalo de 0,001 a 0,1 con respecto a  $DE$ .
2. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizados porque** los perfiles de perfil helicoidal generado y de generación se componen en cada caso por  $6 \cdot Z$  o más arcos circulares con un radio mayor o igual a cero y menor o igual a  $A$ , fundiéndose tangencialmente los arcos circulares en sus puntos de extremo.
- 10 3. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con la reivindicación 2, en los que en cada caso un par de los denominados arcos circulares correspondientes del perfil helicoidal generado y de generación **se caracterizan porque**
- los ángulos de arcos circulares correspondientes son del mismo tamaño,
  - la suma de los radios de arcos circulares correspondientes es igual a la distancia entre ejes,
  - 15 - en cada caso una de las líneas de unión entre el punto central del arco circular del perfil helicoidal de generación y sus puntos de extremo discurre en paralelo a en cada caso una de las líneas de unión entre el punto central del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado y sus puntos de extremo,
  - las direcciones, en las que se encuentran los puntos de extremo del arco circular del perfil helicoidal de generación desde el punto central del arco circular, son en cada caso opuestas a las direcciones, en las que se
  - 20 encuentran los puntos de extremo del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado desde el punto central del arco circular del perfil helicoidal generado,
  - el punto central del arco circular del perfil helicoidal de generación tiene una distancia al punto central del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado, que corresponde a la distancia entre ejes,
  - la línea de unión entre el punto central del arco circular del perfil helicoidal de generación y el punto central del
  - 25 arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado está en paralelo a la línea de unión entre el punto de giro del perfil helicoidal de generación y el punto de giro del perfil helicoidal generado,
  - la dirección, en la que el punto central del arco circular del perfil helicoidal de generación tendría que desplazarse, para hacer que coincida con el punto central del arco circular correspondiente del perfil helicoidal generado, es la misma, en la que el punto de giro del perfil helicoidal de generación tendría que desplazarse,
  - 30 para hacer que coincida con el punto de giro del perfil helicoidal generado.
4. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizados porque** en al menos un arco de cresta de un perfil conecta un arco circular con radio 0.
5. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizados porque** en al menos un arco de cresta de un perfil conecta un arco circular con radio  $> 0$  e inferior a 0,1 veces el diámetro de
- 35 tornillo sin fin.
6. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizados porque** alternan arcos de cresta y arcos de surco en la vuelta alrededor de un perfil.
7. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizados porque** los elementos de tornillo sin fin tienen un número de ejes de simetría, que corresponde al del número de pasos de
- 40 rosca.
8. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizados porque** los elementos de tornillo sin fin tienen una simetría puntual, pero ninguna simetría especular.
9. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, realizados como elementos de transporte.
- 45 10. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, realizados como elementos de amasado.
11. Elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, realizados como elementos de mezclado.
- 50 12. Elementos de tornillo sin fin, que se derivan de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizados porque** los elementos de tornillo sin fin presentan holguras entre elementos de tornillo sin fin y carcasa y/o entre elementos de tornillo sin fin adyacentes.
13. Uso de los elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, en una máquina de tornillo sin fin de varios árboles.

14. Procedimiento para la generación de elementos de tornillo sin fin de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, para máquinas de tornillo sin fin de varios árboles con árboles de tornillo sin fin del mismo sentido por parejas y que engranan con exactitud por parejas, **caracterizado porque** para la formación de los perfiles helicoidales de generación y generados se reúnen en cada caso  $6 \cdot Z$  o más arcos circulares con un radio mayor o igual a cero y menor o igual a  $A$ , fundiéndose los arcos circulares en sus puntos de extremo tangencialmente y siendo la suma de los ángulos de cresta del par de elementos inferior a  $2\pi - 4Z \arccos\left(\frac{A}{DE}\right)$ .
- 5

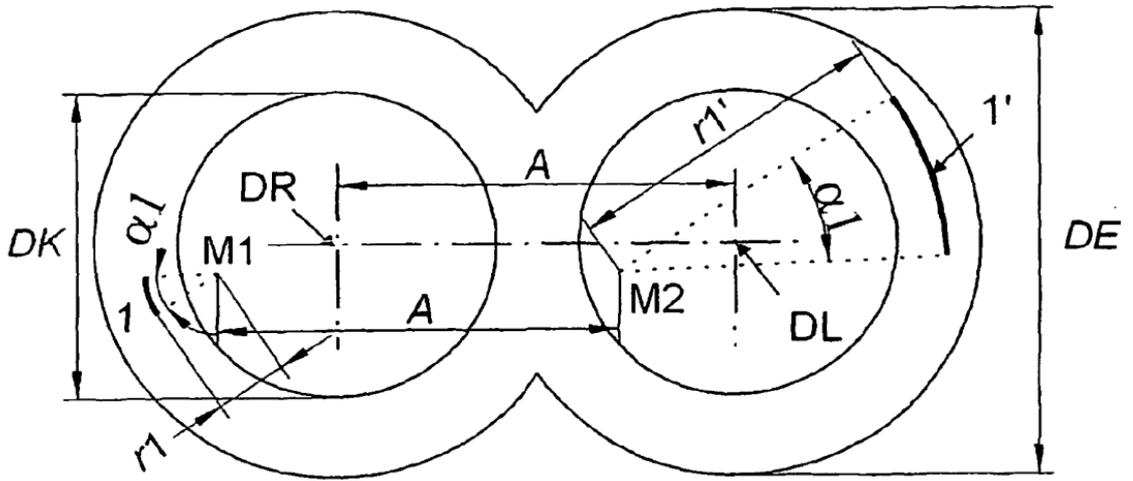


Fig. 1

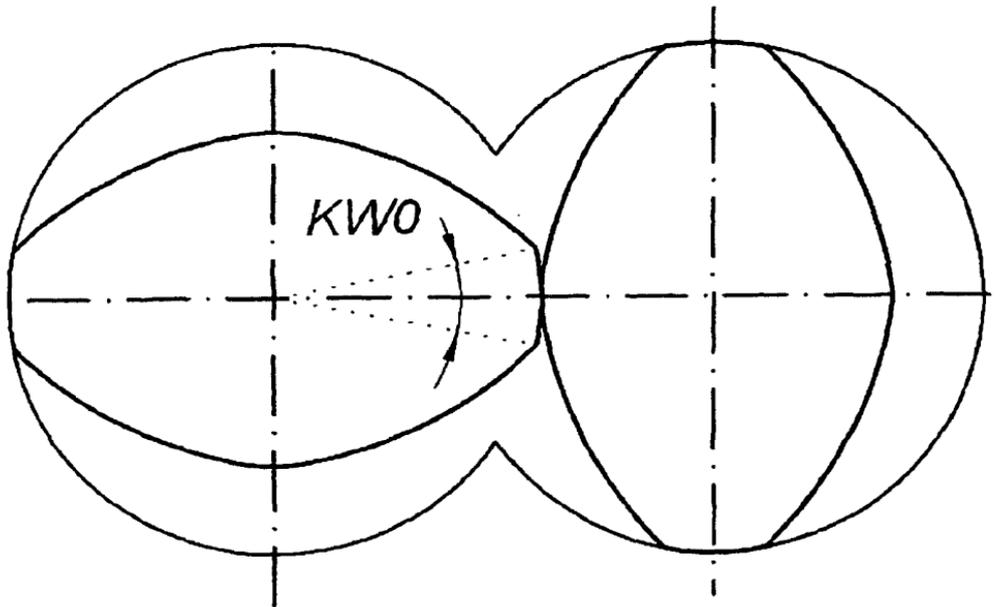


Fig. 2

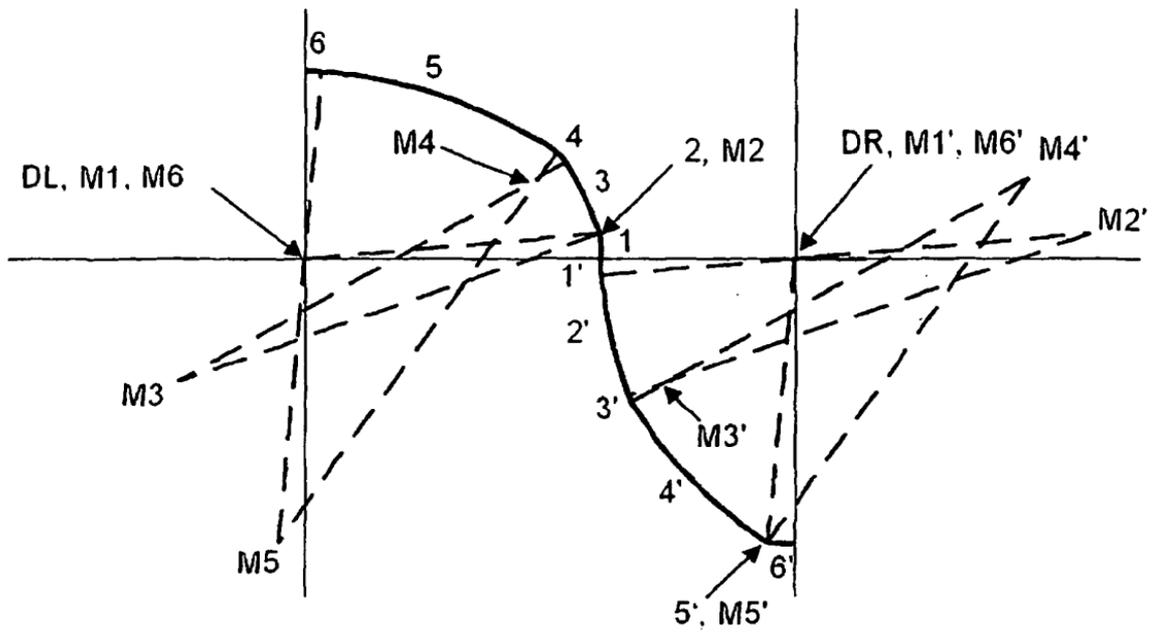


Fig. 3a

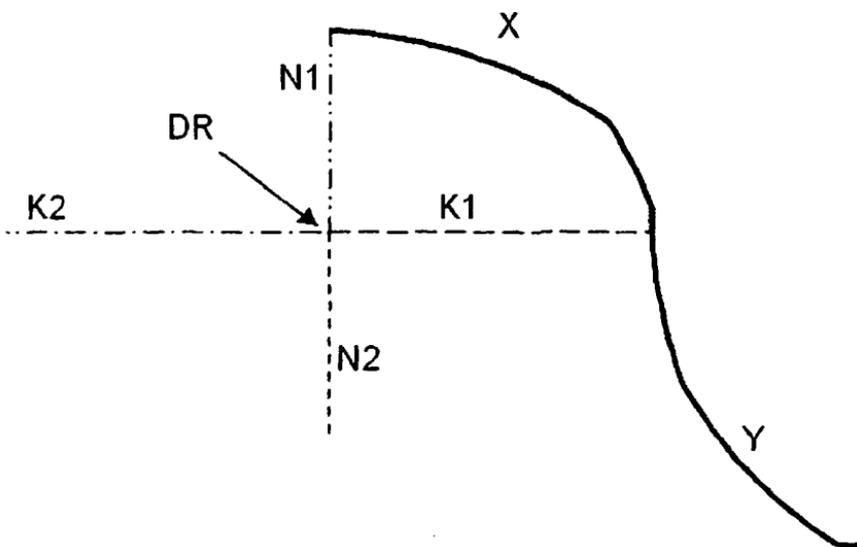


Fig. 3b

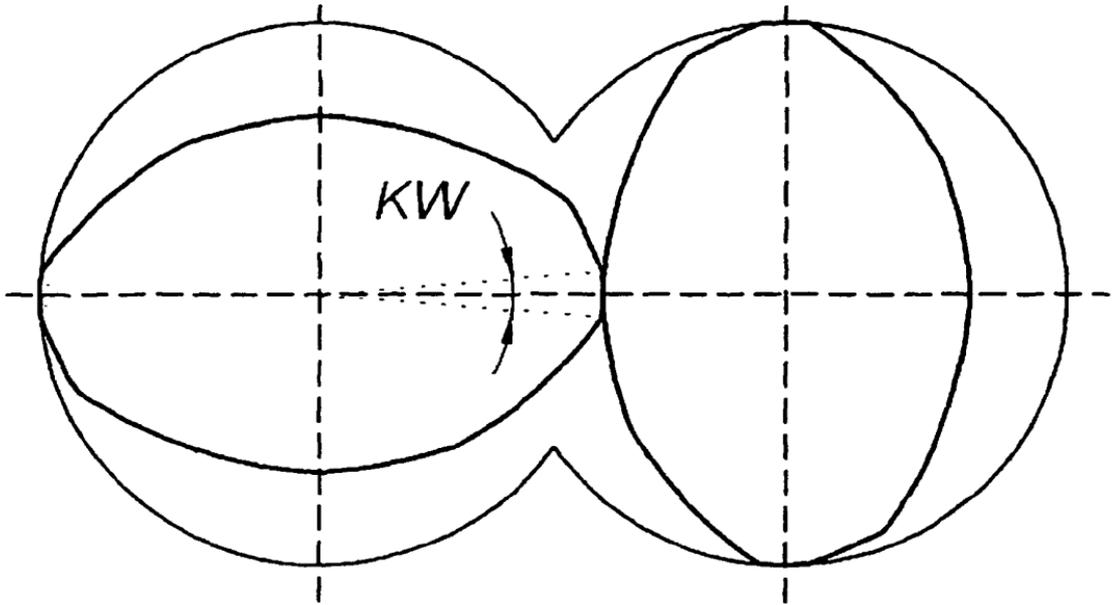


Fig. 4

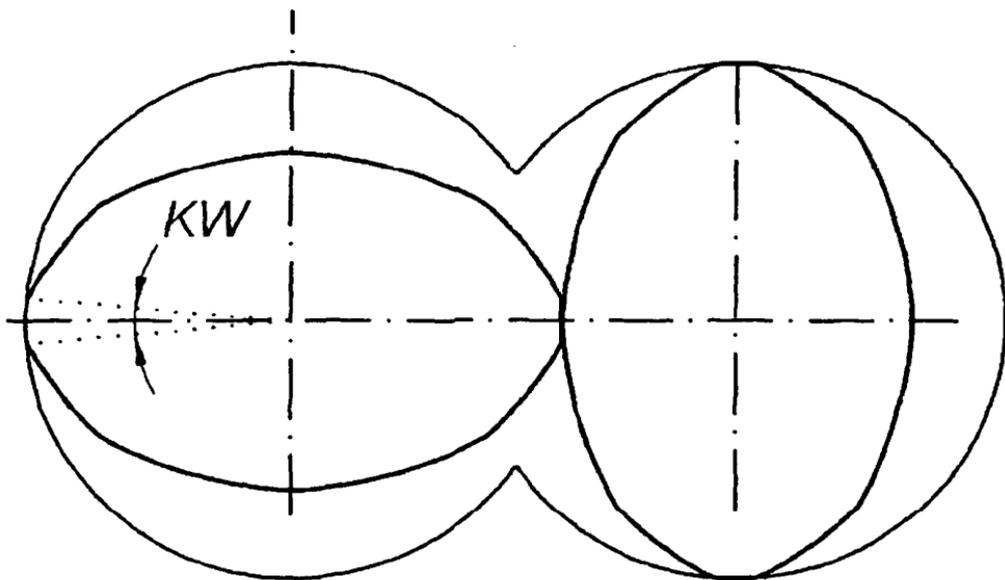


Fig. 5

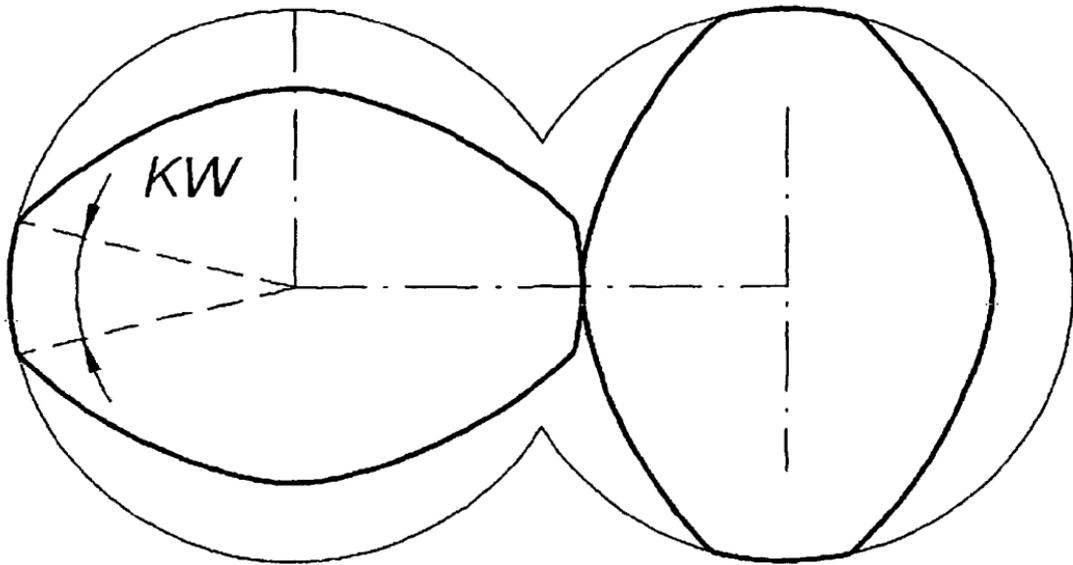


Fig. 6

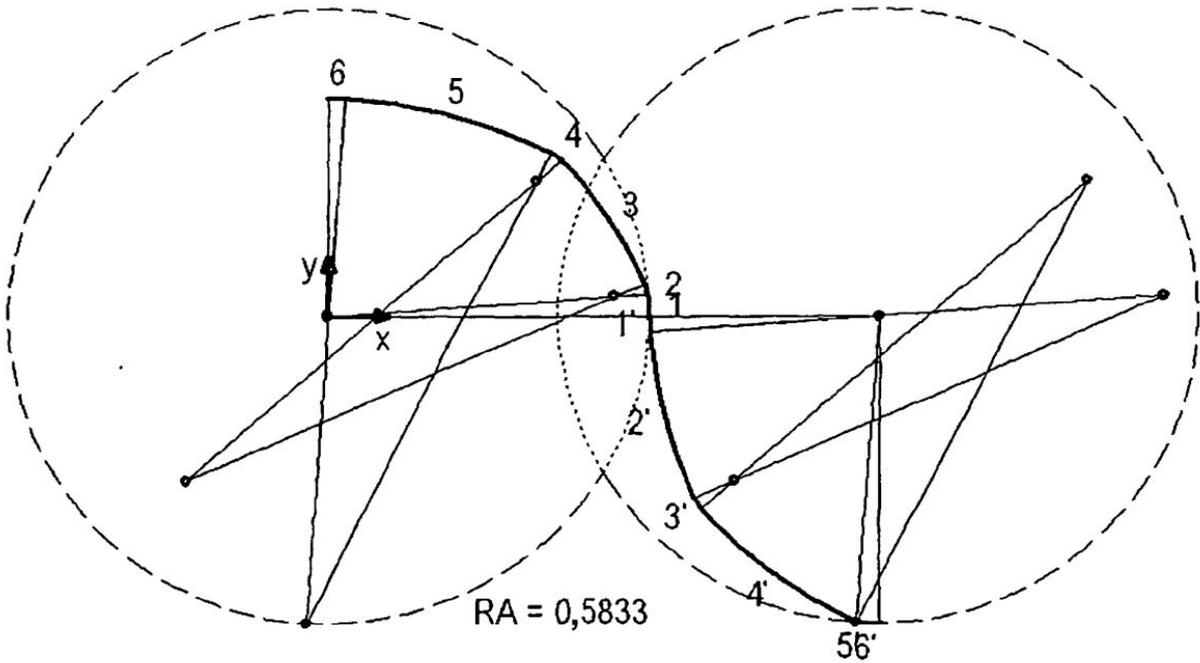


Fig. 7a

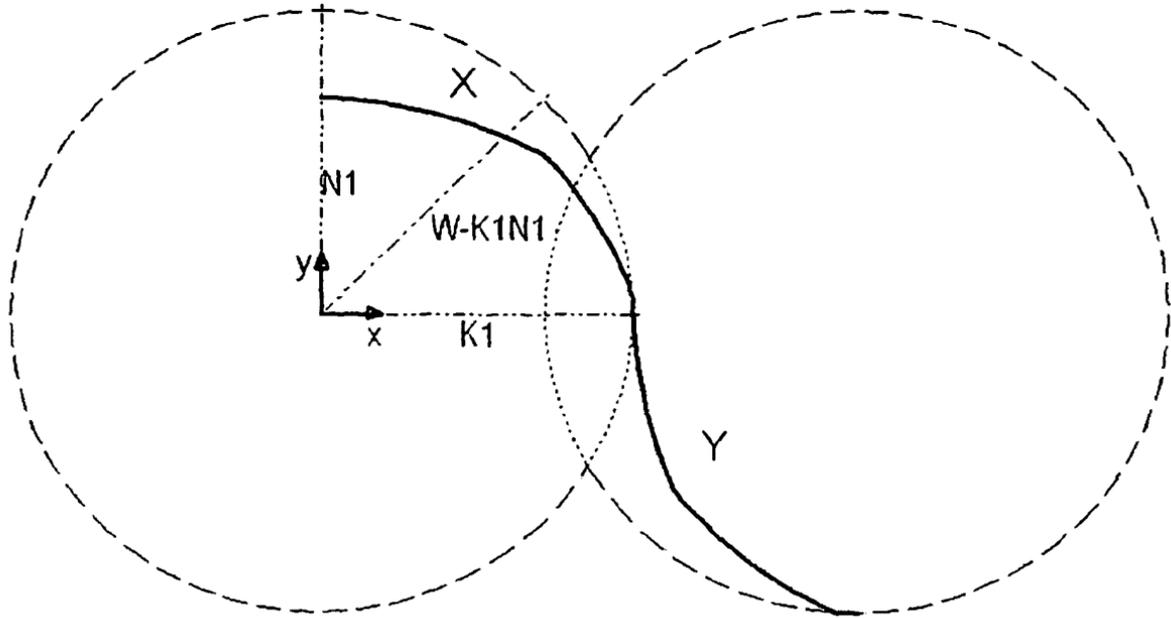


Fig. 7b

1) $R = 0,5833$ $M_x = 0,0000$ $\alpha = 0,0698$ $M_y = 0,0000$	1') $R = 0,4167$ $M_x = 1,0000$ $\alpha = 0,0698$ $M_y = -0,0000$
2) $R = 0,0625$ $M_x = 0,5196$ $\alpha = 0,3491$ $M_y = 0,0363$	2') $R = 0,9375$ $M_x = 1,5196$ $\alpha = 0,3491$ $M_y = 0,0363$
3) $R = 0,9167$ $M_x = -0,2608$ $\alpha = 0,3097$ $M_y = -0,3111$	3') $R = 0,0833$ $M_x = 0,7392$ $\alpha = 0,3097$ $M_y = -0,3111$
4) $R = 0,0625$ $M_x = 0,3766$ $\alpha = 0,3810$ $M_y = 0,2576$	4') $R = 0,9375$ $M_x = 1,3766$ $\alpha = 0,3810$ $M_y = 0,2576$
5) $R = 1,0000$ $M_x = -0,0407$ $\alpha = 0,3914$ $M_y = -0,5819$	5') $R = 0,0000$ $M_x = 0,9593$ $\alpha = 0,3914$ $M_y = -0,5819$
6) $R = 0,4167$ $M_x = 0,0000$ $\alpha = 0,0698$ $M_y = -0,0000$	6') $R = 0,5833$ $M_x = 1,0000$ $\alpha = 0,0698$ $M_y = -0,0000$

Fig. 7c

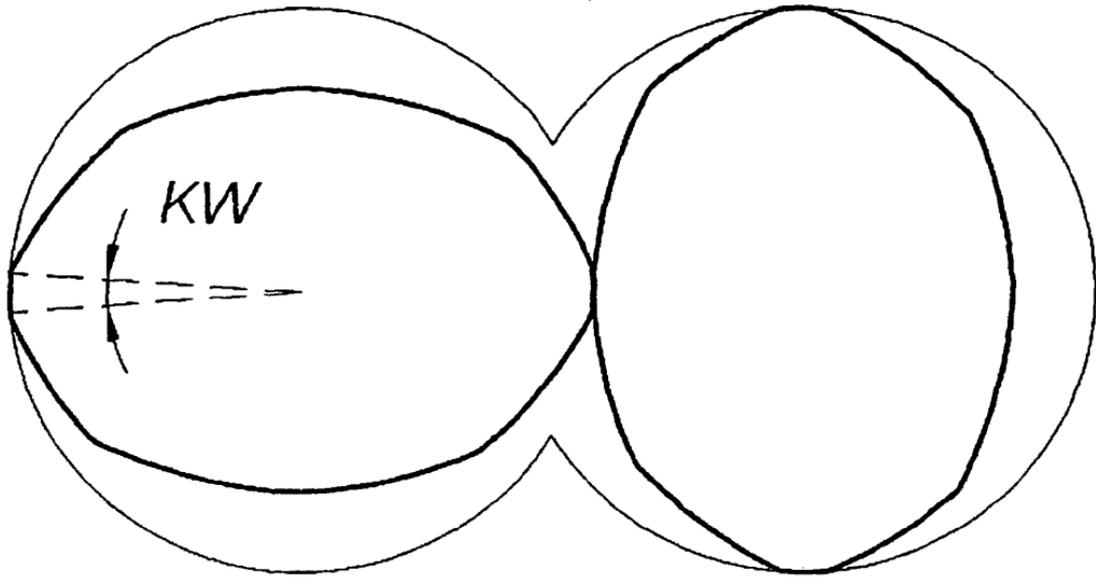


Fig. 8

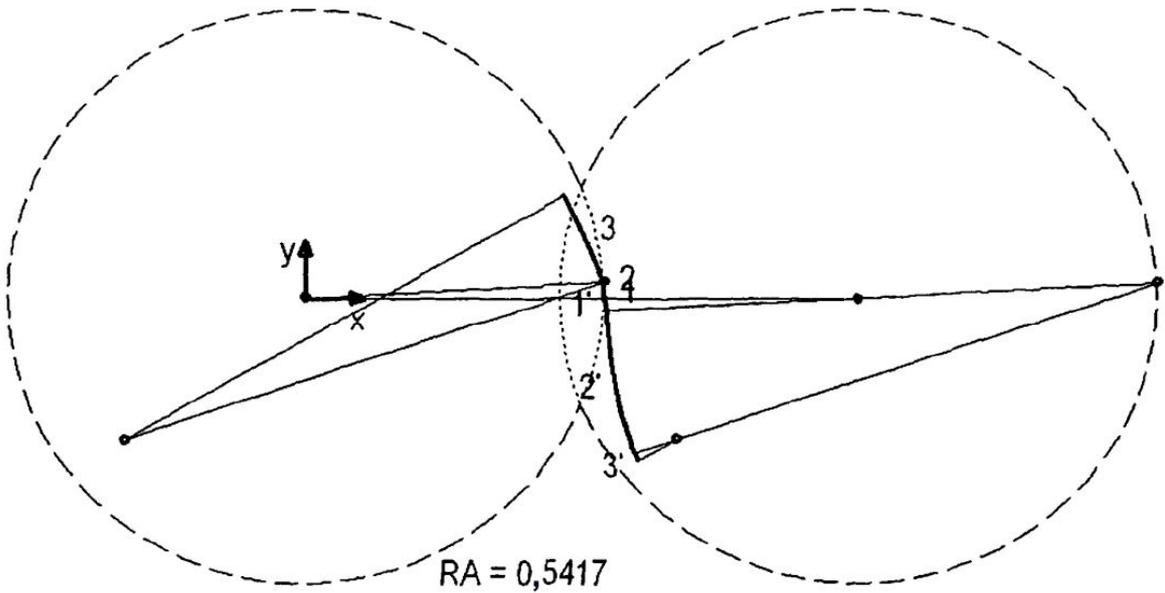


Fig. 9a

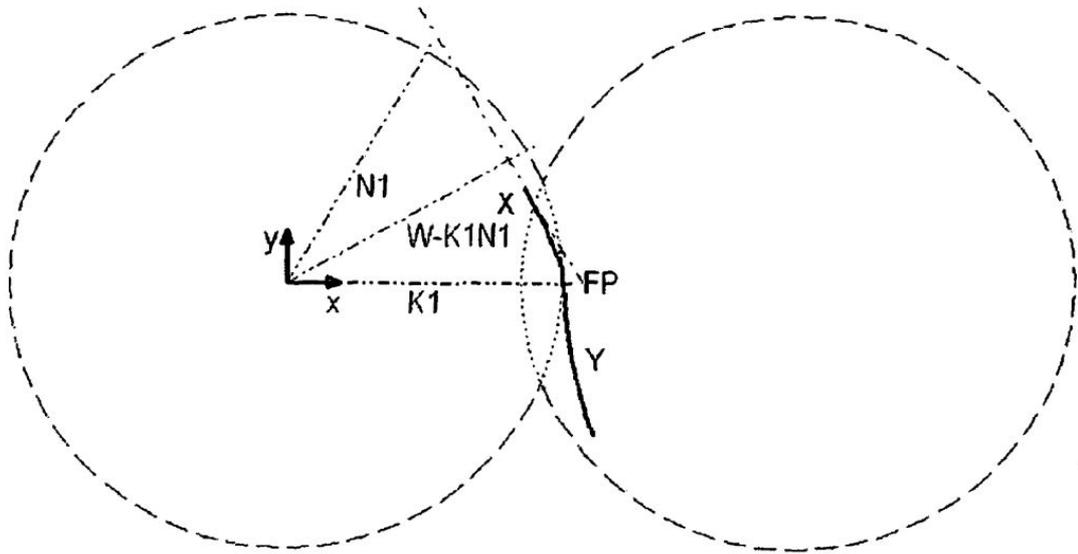


Fig. 9b

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1) $R = 0,5417$ $M_x = 0,0000$    | 1') $R = 0,4583$ $M_x = 1,0000$   |
| $\alpha = 0,0524$ $M_y = 0,0000$  | $\alpha = 0,0524$ $M_y = -0,0000$ |
| 2) $R = 0,0000$ $M_x = 0,5409$    | 2') $R = 1,0000$ $M_x = 1,5409$   |
| $\alpha = 0,2762$ $M_y = 0,0284$  | $\alpha = 0,2762$ $M_y = 0,0284$  |
| 3) $R = 0,9167$ $M_x = -0,3267$   | 3') $R = 0,0833$ $M_x = 0,6733$   |
| $\alpha = 0,1950$ $M_y = -0,2675$ | $\alpha = 0,1950$ $M_y = -0,2675$ |

Fig. 9c

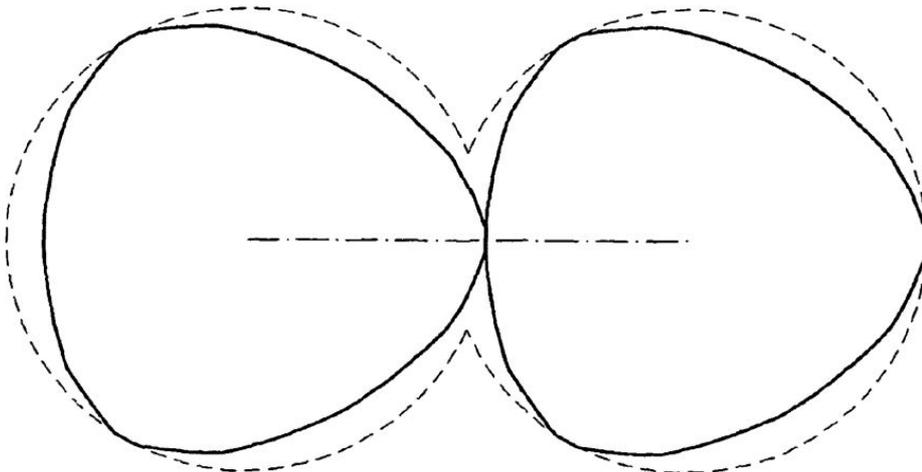
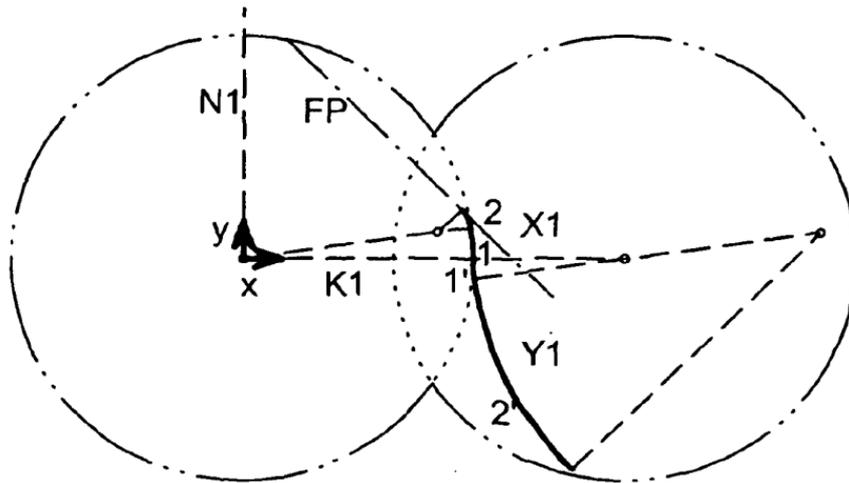
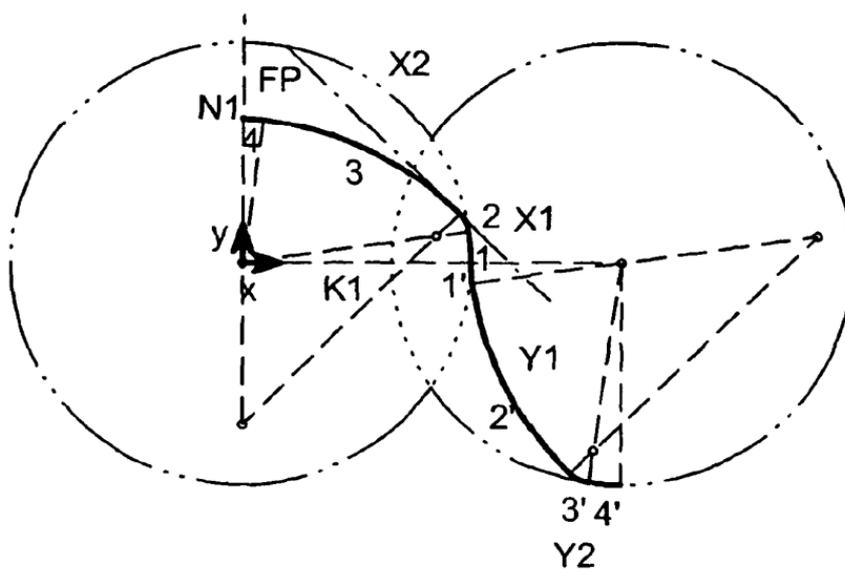


Fig. 10



1) R= 0,6042	Mx = 0,0000	1') R= 0,3958	Mx = 1,0000
α = 0,1396	My = 0,0000	α = 0,1396	My = 0,0000
2) R= 0,0869	Mx = 0,5123	2') R= 0,9131	Mx = 1,5123
α = 0,6458	My = 0,0720	α = 0,6458	My = 1,0720

Figura 11a



1) R=	0,6042	Mx =	0,0000		1') R=	0,3958	Mx =	1,0000
$\alpha =$	0,1396	My =	0,0000		$\alpha =$	0,1396	My =	0,0000
2) R=	0,0869	Mx =	0,5123		2') R=	0,9131	Mx =	1,5123
$\alpha =$	0,6458	My =	0,0720		$\alpha =$	0,6458	My =	1,0720
3) R=	0,3958	Mx =	-0,072		3') R=	0,6042	Mx =	0,9280
$\alpha =$	0,1396	My =	-0,5123		$\alpha =$	0,1396	My =	-0,5123
4) R=	0,9131	Mx =	0,0000		4') R=	0,0869	Mx =	1,0000
$\alpha =$	0,1396	My =	0,0000		$\alpha =$	0,1396	My =	0,0000

Figura 11b

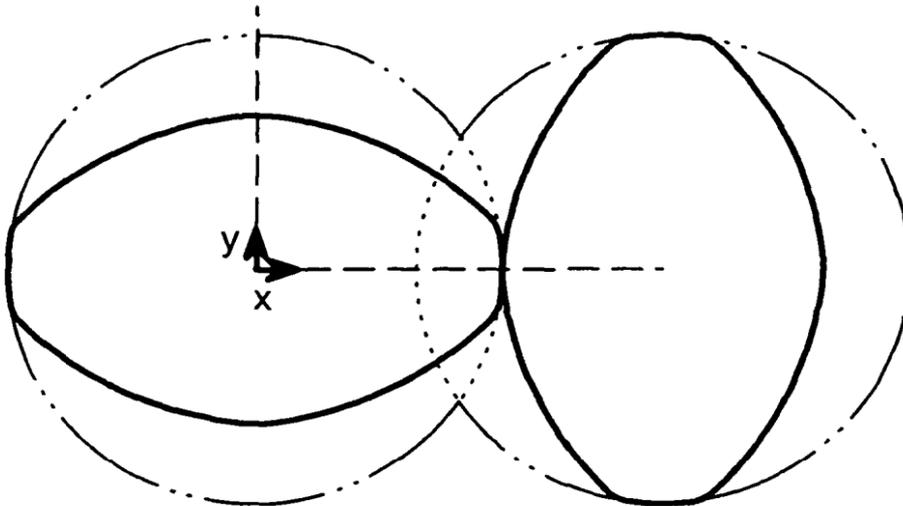


Figura 11c

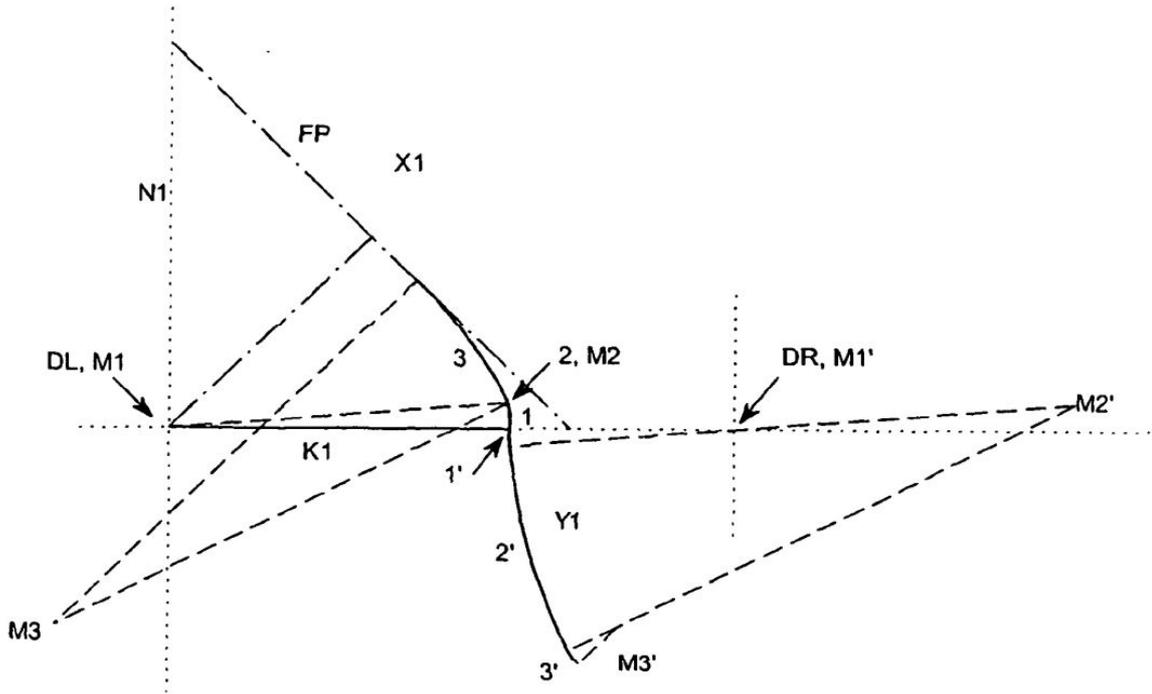


Figura 12a

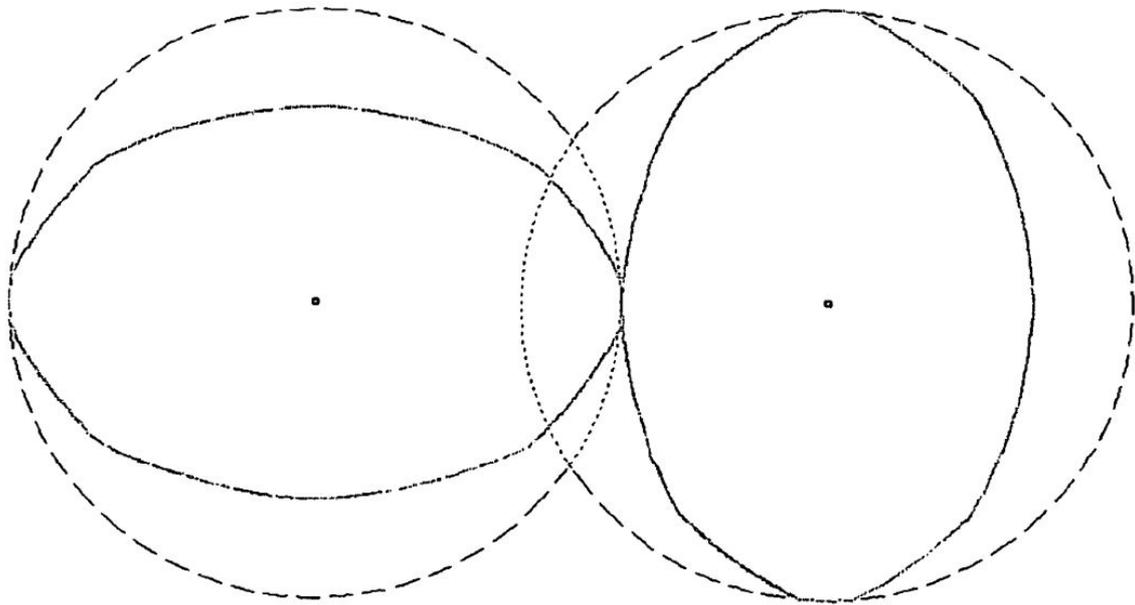


Figura 12b

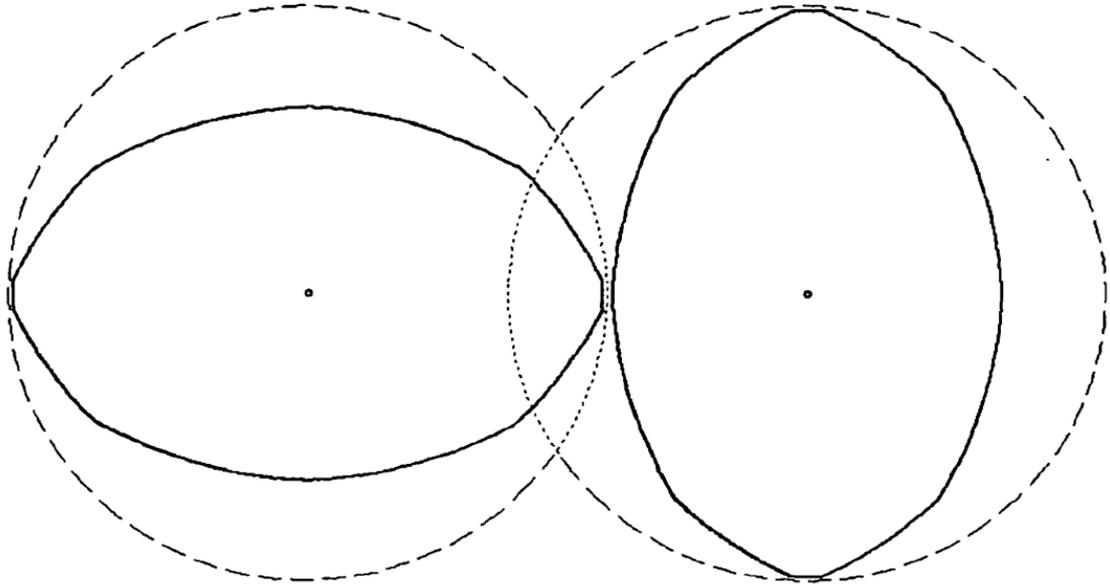


Figura 12c

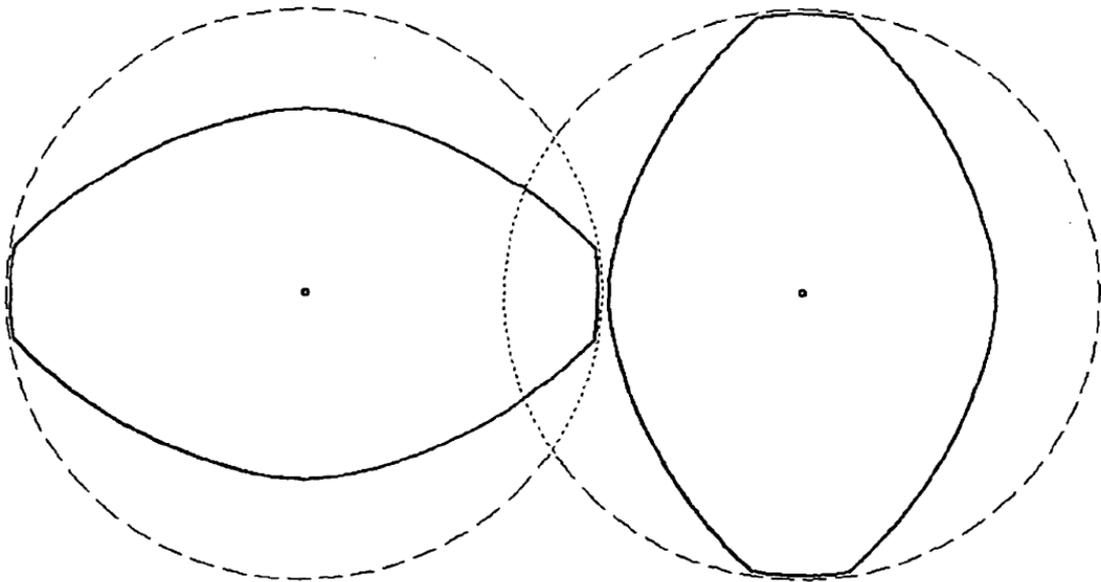


Figura 12d